

**EDOUARD JACOTIN ID UD17989SEN25816**

**FUNDAMENTALS OF KNOWLEDGE II:  
Determination of flow and quality of biogas from *La Chureca* landfill in Managua,  
Nicaragua. Study of its potential for electricity cogeneration**

**Master in Environmental Engineering, Faculty coordinator of the Master of  
Environmental Engineering, specialist and consultant in Solid Wastes, Managua,  
Nicaragua.**

**ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY HONOLULU, HAWAII  
WINTER 2012**

## ABSTRACT

“La Chureca” is the name of an important dumping place of Managua city with approximately thirteen years of existence. This dumping place, in addition to the undesirable odors, it is also a generator of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). These gases that are continuously released due to combustion processes constitute a risk for people who live near to the dumping place or who lived there searching for wastes with still some value.

The object of this scientific essay is to prove that when controlling and capturing generated biogases it is possible to co-generate electrical energy or give it another use. By managing the generation of biogases can be resolved, at the same time, the environmental and human health problems. **This study proves that the proposed landfill biogas management through electricity co-generation project can be financed by itself.**

## **Contenido**

<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b> .....	6
<b>II.- OBJETIVOS</b> .....	6
2.1.- Objetivo general .....	6
2.2.- Objetivos específicos .....	6
<b>III.- MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO</b> .....	7
3.1.- Producción de biogases en rellenos sanitarios y/o vertederos .....	7
3.1.1.- Composición típica de biogás de Rellenos Sanitarios .....	7
3.1.2.- Rango de traza de constituyentes de oliogas .....	8
<b>IV.- METODOLOGÍA</b> .....	9
4.1.- La estequiometria .....	9
4.1.1.- Materiales y método para realizar el balance de masa .....	9
4.1.2.- Procesamiento de informaciones producto de la caracterización de los residuos sólidos de Managua. 10	
4.1.2.1.- Determinación de población y generación de residuos sólidos .....	10
4.1.2.2.- Determinación de valores físicos de residuos sólidos .....	10
4.2.- Metodología para el procesamiento de informaciones .....	11
4.2.1.- Determinación de pesos secos y húmedos de los componentes de residuos sólidos urbanos (RSU) de Managua .....	11
4.2.2.- Determinación de cantidades de los elementos químicos constitutivos de los biogás.....	11
4.2.3.- Modelos para la determinación de cantidades de biogás producidos .....	12
4.3.- El método de exploración por pozos perforados .....	12
4.3.1.- Materiales y método para captura pasiva y medición de biogás .....	12
4.3.1.1.- Macro-localización.....	12
4.3.1.2.- Micro - localización .....	13
4.4.- Características de las perforaciones .....	13
4.4.1.- Criterios de selección de los sitios .....	13
4.4.2.- Equipo de perforación .....	13
4.4.3- Equipo y frecuencia de monitoreo de biogás .....	14
5.1.- Sistema de medición indirecta.....	14

---

## Inventario de Gases de relleno sanitario, captura y utilización.

---

5.1.1.- Porciones en peso seco de materiales orgánicos .....	14
5.1.2.- Resultados del balance de elementos químicos de la masa seca de la materia orgánica fácilmente biodegradable (M.O.F.B) .....	16
5.1.2.1-Resultados Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de los componentes orgánicos fácilmente biodegradable (m.o.f.b) Rf:Hoja No2 de 5 ANEXO B.....	17
5.1.2.2.-Resultados Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de la materia orgánica difícilmente biodegradable (M.O.D.B) Rf: Hoja No 2 de 5 en ANEXO B.....	18
5.1.2.3- Resultantes Ponderados de Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de la materia orgánica fácil y difícilmente biodegradable (M.O.F.B) (M.O.D.B) Rf: Hoja No2 de 5 en ANEXO B .....	19
5.1.2.4.- Formulación de hipótesis a partir de resultados anteriores.....	20
5.1.2.5.- Valores en kilogramos molares resultantes de las reacciones bioquímicas de los elementos de los componentes orgánicos fácil y difícilmente biodegradables (M.O.F.B y M.O.D.B).....	20
5.1.2.6- Cantidades de biogás principal resultantes de la ponderación de los valores del paso anterior ..	21
5.1.2.7- Eficiencia de producción de biogás principales resultantes de los valores del paso anterior .....	21
5.2- Cantidad de biogás registrados desde el sistema de medición directa.....	22
5.2.1- Volúmenes de biogás registrados .....	22
5.2.2- Calidad de biogás registrado .....	23
5.2.3- Geometría de espacio de movilidad de los biogás y Volúmenes de biogás disponible en el vertedero La Chureca.....	24
<b>5.3.- Capacidad de producción de biogases y de cogeneración de energía eléctrica .....</b>	<b>25</b>
VI.- CONCLUSIONES .....	26
VI.-RECOMENDACIONES .....	26
VII.- BIBLIOGRAFIA .....	27
<b>VIII.- APENDICE .....</b>	<b>28</b>
8.1.- APENDICE A .....	28
8.2.-APENDICE B .....	31
8.3.-APENDICE C .....	36
8.4 APENDICE D .....	38
8.4.1.-Equipo científico que participó en proceso de monitoreo directo del biogás .....	38

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Composición típica del biogás (Ham, 1979).....	7
Tabla 2. Composición de oligogas .....	8
Tabla 3. Constituyentes traza en el oligogas (Rettenberger, 1987).....	8
Tabla 4. Emisiones potenciales de metano procedentes de residuos sólidos dispuestos en el vertedero La Chureca, Managua, en el año 2010 (Fuente: elaboración propia).....	10
Tabla 5. Caracterización de los residuos sólidos.....	11
Tabla 6. Resultados del balance de masa de M.O.F.B. ....	17
Tabla 7. Resultados de elementos químicos contenidos en los M.O.D.B. ....	18
Tabla 8. Resultados de balance de elementos químicos contenidos en los M.O.F.B y M.O.D.B.....	19
Tabla 9. Volumen de biogás producido (Fuente: elaboración propia) .....	22
Tabla 10. Producción y cogeneración de energía (Fuente: elaboración propia) .....	25

## **I.- INTRODUCCIÓN**

Los componentes orgánicos de los residuos sólidos caracterizados en fácil y difícilmente biodegradable se descomponen y se estabilizan, a través de un proceso anaeróbico durante la vida útil del vertedero y los gases principales producidos, el metano y el dióxido de carbono si no se controlan contribuyen a la contaminación local y global del medio ambiente (efecto invernadero).

Científicos reconocidos mundialmente están convencidos que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y los CO<sub>2</sub> convertibles: CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC y vapor de agua, son los contribuyentes en el calentamiento de la atmósfera y en consecuencia los que contribuyen al cambio climático. Es de suma importancia, para el estudio correspondiente, ya que una molécula de metano produce un efecto 21 veces mayor que una molécula de dióxido de carbono. Además de los gases antes señalados se emite oligogás a nivel de trazas, entre los cuales se destacan los hidrocarburos aromáticos presuntamente cancerígenos.

En última instancia, si no existen condiciones para aprovechar el biogás, debe considerarse la opción de captarlo pasivo o activamente para luego quemarlo en una instalación adecuada, y de esta forma disminuir el impacto negativo que pueden provocar al medio ambiente.

## **II.- OBJETIVOS**

### **2.1.- Objetivo general**

Determinar la cantidad y calidad del biogás producido en el vertedero municipal de Managua “La Chureca” con la finalidad de cogenerar energía eléctrica.

### **2.2.- Objetivos específicos**

- Inventariar la cantidad teórica de biogases que se genera en el vertedero La Chureca.
- Instalar dispositivos de corrección de flujo pasivo y de recolección de biogás en diferentes puntos del vertedero.
- Monitorear la producción de biogás (flujo pasivo) en cada punto seleccionado utilizando gasómetros.
- Analizar muestras de biogás para determinar su contenido de metano.

### III.- MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO

#### 3.1.- Producción de biogases en rellenos sanitarios y/o vertederos

El metano (CH<sub>4</sub>) es inodoro y explosivo en concentraciones entre el 5 y el 15% por volumen en el aire. El metano no es soluble en agua y de este modo se concentra dentro del relleno sanitario hasta que comienza a moverse a través de los espacios vacíos, alcanzando finalmente la atmósfera, existiendo la posibilidad de que el gas se embolse y explote si no se prevé esta situación. Por ello, se hace obligatorio el uso de sistemas que canalicen adecuadamente la salida de los gases mediante la colocación de filtros de piedra o tuberías perforadas, entre otras formas. Otro inconveniente reportado es que la producción de gas ocasiona la formación de vacíos internos que ceden con el peso del material de encima.

#### 3.1.1.- Composición típica de biogás de Rellenos Sanitarios<sup>1</sup>

*Tabla 1. Composición típica del biogás (Ham, 1979)*

Componentes biogás	%
Metano	47.40
Nitrógeno	3.70
Hidrocarburos Parafinados	0.12
Hidrógeno	0.12
Monóxido de Carbono	0.12
Dióxido de Carbono	47.03
Oxígeno	0.80
Hidrocarburos Aromáticos Cíclicos	0.20
Sulfuro de Hidrógeno	0.01
Oliogás (compuestos derivados de COV) a nivel traza	0.50
	<b>100.00%</b>

Tal como se puede observar la composición típica del biogás producido es de aproximadamente 50% metano, 45% dióxido de carbono, y 5% de otros compuestos orgánicos u olio gas (ver Tabla 2).

---

<sup>1</sup> Typical landfill gas composition. By Philip O'Leary and Patrick are solid waste specialists with the University of Wisconsin-Madison.

**Tabla 2. Composición de oligogas**

<i>Composición de oligogas</i>			
CloroEthane	4-Cloro3Cl -oroEthane	2ChloroEthane	2CloroPropane
2 Propanol	Acetona	Acrilonitrilo	Benceno
Bromo2Cloro Metano	Butano	2Carbonato de azufre	Óxido del carbono
4Cloro carbonato	Clorobenceno	Cloro Etano	Cloroformo
Cloro Metano	2CloroBenceno	Etano	Etanol
Etil Benceno	Etil Mercaptano	Hexano	Hidrógeno
Mercurio	Etilo del metilo Ketone	Pentano	Propano
Tolueno	Vinilo de Cloruro	3Cloro Etano	Nitrógeno
Amoníaco	Hidrógeno sulfuro		

### 3.1.2.- Rango de traza de constituyentes de oligogas<sup>2</sup>

Preocupados para imprimir mayor precisión sobre la liberación de contaminantes atmosféricos potenciales de los vertederos. Por lo mismo en los últimos años, se ha dado especial seguimiento a los gases de relleno sanitario, tanto de los gases principales como de los oligoelementos. En relación a estos últimos se ha encontrado concentración variable de hidrocarburos de mayor peso molecular. Se resumen en la Tabla 3. Es de suma importancia tomar en cuenta de que se encontraron amplios intervalos de concentraciones de los oligoelementos. Se realizaron mediciones en gas de relleno que no se había mezclado con la atmósfera, y los resultados fueron los que se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 3. Constituyentes traza en el oligogas (Rettenberger, 1987)**

<b>Hidrocarburos en biogás de Relleno Sanitario</b>	<b>en mg/m<sup>3</sup>, sobre la base de gas de relleno sanitario sin aire</b>
Etano C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.8-48
Etileno C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.7-31
Propano C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.04-10
Butano C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.-23
Butileno C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	1-2
Pentano C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0-1
Hexano C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	3-18 7
Ciclohexano C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	2-6
Heptano C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	3-8
Octano C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.05-75
Nonano C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0.05-400
CumenoC <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	0-32
Decano C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0.2-13

<sup>2</sup> Rettenberger, G, "Trace Composition of Landfill Gas," *Proceedings of International Symposium on Process, Technology, and Environmental Impact of Sanitary Landfill, Cagliari, Sardinia, Italy (Oct. 19-23, 1987)*

Undecano C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	7-48
Dodecano C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	2-4
Tridecano C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	0.2-1
Benzeno C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0.03-7
Tolueno C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.2-615

## **IV.- METODOLOGÍA**

Para inventariar la cantidad y la calidad de los biogás que se genera en mayores cantidades (metano, dióxido de carbono y amoníaco) en el vertedero La Chureca, se implementaron dos metodologías, las cuales son descritas a continuación.

### **4.1.- La estequiometria**

Consiste básicamente en un balance de masa en el que se toma en cuenta la materia orgánica fácil y difícilmente biodegradable húmeda y seca.

#### **4.1.1.- Materiales y método para realizar el balance de masa**

1. Se formó un equipo de investigadores con profesores del CIEMA para la recolección de datos de campo relacionado con la población, la calidad y la edad del vertedero que incluyen principalmente:
  - El tamaño del vertedero,
  - La edad del vertedero,
  - La topografía de las áreas del vertedero y de las áreas adyacentes,
  - La hidrogeología de las áreas del vertedero y de las áreas adyacentes,
  - Datos limnológicos de los cuerpos de aguas que se encuentran en las áreas, de influencia del vertedero en este caso datos del lago Xolotlan,
  - Sub-Cuencas (Sur Norte) que aporten caudal de agua en concepto de flujo sub-superficial y superficial, al lago,
  - Tipo y métodos de cultivos empleados en dichas sub-cuencas y geomorfologías de las mismos,
  - Tipo de agroquímicos utilizados en ellas
2. Datos fisicoquímicos de los residuos sólidos producidos por la población de la ciudad de Managua<sup>3</sup>,
  - La Producción Per Cápita (PPC) kg/habitante/día

---

<sup>3</sup> *Gestión Integral de los Residuos Sólidos, George Tchobanoglous, Cap. 4 sesión 4.1, 4.2, tabla4. 1 y 4.2*

- La densidad de los residuos sólidos
- El porcentaje de cada uno de los componentes de los referidos residuos
- El porcentaje de humedad

#### **4.1.2.- Procesamiento de informaciones producto de la caracterización de los residuos sólidos de Managua**

##### **4.1.2.1.- Determinación de población y generación de residuos sólidos**

Con los datos de población, tasa de de crecimiento del casco urbano, se determinó la Producción Per Capita (PPC) de residuos sólidos. Haciendo uso de la información de porcentaje de cobertura de recolección de los desechos sólidos se determinó la cantidad y porcentaje de residuos sólidos producidos que realmente se deposita en el vertedero (ver Tabla 4).

*Tabla 4. Emisiones potenciales de metano procedentes de residuos sólidos dispuestos en el vertedero La Chureca, Managua, en el año 2010 (Fuente: elaboración propia)*

	A	B	C	D	E
<b>MUNICIPIOS</b>	Población urbana cuyos servida	Producción Per cápita (PPC) (Kg./hab./día)	Cantidad Total Anual de Residuos Sólidos Producidos (Gg)	Porcentaje de biodegradables (%)	Total Anual de Residuos Sólidos Dispuestos (Gg )
			$C = (A \times B \times 365) / 1\ 000\ 000$		$E = (C \times D)$
<b>MANAGUA</b>	896168	0.64	209344844.8	0.75	<b>157</b>

##### **4.1.2.2.- Determinación de valores físicos de residuos sólidos**

Producto de la caracterización física de los residuos sólidos se encontraron:

1. Los valores el porcentaje de cada uno de los componentes de los referidos residuos que a continuación se describen (ver Tabla 5).
2. La densidad suelta de los residuos sólidos
3. El porcentaje de humedad

**Tabla 5. Caracterización de los residuos sólidos**

TIPOS, COMPONENTES Y AGRUPACIONES			
MANAGUA			
COMPONENTES	Peso (lb.)	% Peso	% Peso
Residuos de Comida	3.91	0.280	27.97
Restos de jardín	1.68	0.120	12.04
Restos de jardín C.D.	0.28	0.020	2.01
Papel periódico	1.07	0.077	7.66
Papel de oficina	1.63	0.117	11.65
Madera	1.12	0.080	8.02
Cartón	1.95	0.140	13.98
Plástico	0.62	0.044	4.43
Cuero	0.10	0.007	0.74
Goma	0.10	0.007	0.74
Metal	0.39	0.028	2.82
Tela	0.17	0.012	1.24
Vidrio	0.30	0.022	2.16
Cerámica y materiales de construcción	0.36	0.025	2.55
Otros (tierra)	0.28	0.020	2.00
<b>TOTAL</b>	<b>13.97</b>		100

#### **4.2.- Metodología para el procesamiento de informaciones**

##### **4.2.1.- Determinación de pesos secos y húmedos de los componentes de residuos sólidos urbanos (RSU) de Managua**

Los datos de la tabla anterior en donde vienen reflejados los datos porcentuales de los componentes y de las categorizaciones (agrupaciones) de los RSU de Managua, constituyen valiosos insumos para determinar: los pesos húmedo y seco de cada uno de los componentes orgánicos, así como de las agrupaciones (categorización) de los mismos en fácil y difícilmente biodegradables. En la hoja de cálculo (*hoja 1 de 5 en ANEXO B*), se encuentran los resultados de los cálculos realizados.

##### **4.2.2.- Determinación de cantidades de los elementos químicos constitutivos de los biogás**

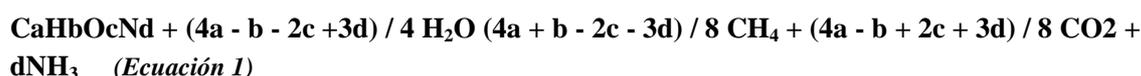
Una vez determinados los pesos secos de los componentes de los residuos sólidos, se procedió a determinar el peso de cada uno de los elementos químicos que componen y caracterizan la componentes orgánica (fácil y difícilmente biodegradable), el C, H, O, N, K, S y cenizas.

Se multiplicó las componentes porcentuales de cada una de los elementos químicos (CHONKS) expresada en decimales, por los subtotales de pesos secos (sustrayendo de ellos los subtotales de pesos de ligninas de cada uno de los componentes y combinación de

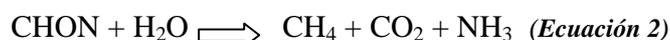
componentes). En la, *hoja 2 de 5 en ANEXO B* se encuentra desarrollado lo expresado anteriormente.

#### **4.2.3.- Modelos para la determinación de cantidades de biogás producidos**

Utilizando la ecuación 1:



Se determinó la masa o peso molar de cada una de los elementos y compuestos químicos que vienen descritos en la reacción siguiente (Ecuación 2):



El desarrollo de esta ecuación se realizó en la *hoja 3 de 5* que se encuentra representado en *Anexo*.

Una vez considerada balanceada la masa, con base en los pesos específicos de cada uno de los gases considerados, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> se estima la cantidad teórica de cada una de los referidos gases. En *Anexo B* se encuentran desarrollados el proceso de determinación así como los valores ya mencionados en la *hoja 4 de 5* y *la grafica* correspondiente.

Finalmente, en el *Anexo B* se encuentran reflejada en la *hoja 5 de 5*, el proceso de rendimiento de los RSU, determinando la cantidad o volumen (m<sup>3</sup>) teórica del gas producido por peso unitario (Kg) de residuos sólidos, basándose en:

1. Componentes orgánicos de RSU, base húmeda, fácil y difícilmente biodegradables
2. Componentes orgánicos de RSU, base seca, fácil y difícilmente biodegradables
3. Componentes orgánicos de RSU, base húmeda fácil y difícilmente biodegradables, y componente inorgánica.

#### **4.3.- El método de exploración por pozos perforados**

Este método permita monitorear y medir directamente la cantidad y calidad del biogás producido y fluyendo de forma pasiva.

##### **4.3.1.- Materiales y método para captura pasiva y medición de biogás**

###### **4.3.1.1.- Macro-localización**

En el siguiente mapa se muestra la ubicación del barrio de Acahualinca, perteneciente al Distrito II, donde se encuentra el vertedero municipal conocido popularmente como “La Chureca”. En este vertedero se depositan aproximadamente 1,200 T de desechos sólidos diariamente, transportadas hasta este sitio mediante el servicio municipal de recolección. “La Chureca” sirve también como un medio de subsistencia para personas de muy bajos recursos que diariamente buscan materiales reciclables entre los desechos e incluso existen alrededor de 100 familias que viven en condiciones deplorables en las zonas aledañas al vertedero.

#### **4.3.1.2.- Micro - localización**

El vertedero la Chureca que se ha utilizado durante aproximadamente 30 años como sitio de disposición de los desechos sólidos de la ciudad de Managua esta localizada a escasas 18 metros de la riberia sur del lago Xolotlan simulando la forma geométrica de una semilla de marañón (Nuez) cuya lado cóncava se alinea precisamente la forma de dicha riberia del lago, *ver Imagen No 1, en ANEXO A*. En esta imagen se muestra no solo la forma del vertedero, sino también los sitios (puntos) seleccionados para el proceso de monitoreo del biogás producido. Se debe destacar que la profundidad del Relleno Sanitario, en el momento de realizar esta investigación, era de al menos 12 metros, aumentando en algunos puntos del mismo hasta 17 m, puesto que el relleno y compactación no se han realizado uniformemente.

#### **4.4.- Características de las perforaciones**

##### **4.4.1.- Criterios de selección de los sitios**

La selección de los diferentes sitios de perforación se realizó en base a la antigüedad de los residuos sólidos depositados, con el propósito de determinar si existen diferencias apreciables en cuanto a la cantidad y calidad del gas producido en el relleno sanitario. El punto mediante el cual se monitoreó los residuos sólidos de mayor antigüedad corresponde al sitio 1, donde se encuentran los residuos sólidos depositados 30 años atrás, siguiendo en orden de antigüedad los sitios 2, 3 y 4, con residuos sólidos depositados hace 20, 10 y 5 años, respectivamente.

##### **4.4.2.- Equipo de perforación**

Las perforaciones fueron realizadas por la empresa “Ingeniería de Materiales y Suelos”, mediante el uso de máquinas UGB – 50 M, con capacidad de 150 m, autopropulsadas, montadas sobre camión Gass. Las perforaciones se realizaron en tres días de trabajo continuo, *Ver imagen No2 en ANEXO A*.

#### 4.4.3- Equipo y frecuencia de monitoreo de biogás

Se utilizaron contadores de biogás marca Ritter, con capacidad de medición de flujo de 1 l/min y una exactitud de 0.02 litros. Se colocaron dos medidores en paralelo por sitio, acoplándose a las tuberías de muestreo mediante mangueras flexibles de ½” de diámetro. *Ver Imagen No3 en ANEXO A.*

Estos contadores permitieron llevar un registro detallado del volumen de biogás producido, mediante la anotación a intervalos de 1 hora de la cantidad total registrada, siendo necesario restar cada valor anotado del valor anterior para determinar la cantidad de gas producida por hora.

Se realizaron pruebas de temperatura día y noche. *Ver Imagen No 4 en ANEXO A.*

Aprovechando las horas de la noche se realizaron prueba de quema de biogás y medición de longitud, intensidad y color de llamas de los mencionados biogás. *Ver imagen No5 en ANEXO A.*

Se efectuaron un total de 6 muestreos del volumen de biogás de 8 horas mínimo, duran 6 días, 5 de los cuales se realizaron en el día y uno en la noche, este último para determinar si existe diferencia entre la generación de biogás en el día y en la noche.

## V.- RESULTADOS

### 5.1.- Sistema de medición indirecta

#### 5.1.1.- Porciones en peso seco de materiales orgánicos

En la *Hoja No1 de 5 en ANEXO B*, se encuentran reflejados los resultados: porcentaje, peso seco y peso seco menos lignina de cada uno de los componentes según los tipos de residuos sólidos orgánicos de fácil y difícil biodegradable. A continuación se resumen los pesos definitivamente considerados (para proceder al siguiente paso):

#### 1. De la componente orgánica de fácil biodegradación:

- a. Del 30% del componente de residuos de comida equivalente a un peso seco de 13,133,424 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás un total de **10,112.736 kg** siendo el resto **3,020,688 kg** de proceso de biodegradación refractaria.
- b. Del 96% del componente papel periódico equivalente a un peso seco de 11,509,706 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción

del biogás un total de **8,862,474 kg** siendo el resto **2647232 kg** de proceso de biodegradación refractaria.

- c. Del 98% del componente papel de oficina equivalente a un peso seco de 17,869,658 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás un total **13,759,637 kg** siendo el restante equivalente a **4,110,021 kg**, de proceso de biodegradación refractaria.
- d. Del 40% del componente residuos de Jjardín y fibra de madera equivalente a un peso seco de 7,537,906 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás un total **5,804,188kg** siendo el resto **1,733,718 kg**, de proceso de biodegradación refractaria.

## **2. De los componentes orgánicos de difícil biodegradación:**

- a. Del 90% del componente textiles equivalente a un peso seco de 1,746,741 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás un total **1,344,990 kg** siendo el restante equivalente a **401.751 kg**, de proceso de biodegradación refractaria.
- b. Del 92% del componente madera equivalente a un peso seco de 11,546,012 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás principales un total **8,890,429 kg** siendo el restante equivalente a **2,655,583 kg**, de proceso de biodegradación refractaria.
- c. Del 95% correspondiente al componente goma y plásticos de baja densidad (P.B.D) el peso seco total equivalente a 7,673,624 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción de los biogás principales.
- d. Del mismo modo del 99% correspondiente al componente cuero el peso seco total equivalente a 1,149,662.14 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás.
- e. Del 50% del componente residuos de jardín equivalente a un peso seco de 1,573,005.72 kg participan en el proceso de biodegradación para la producción del biogás un total 1,211,214 kg siendo el restante equivalente a 361,791.72 kg, de proceso de biodegradación refractaria.

## **3. Total de la componentes orgánicos de fácil y difícil biodegradación:**

- a. La cantidad en peso seco de la componentes orgánica de fácil biodegradación que finalmente contienen elementos químicos (CHONS) suma un total de 54,545,142 kg.
  - b. La cantidad en peso seco de la componentes orgánica de difícil biodegradación que finalmente contienen elementos químicos (CHONS) suma un total de 20,269,921 kg.
4. Efectividad o rendimiento de las cantidades en peso seco, realmente biodegradables de la porciones **orgánica de difícil y de difícil biodegradación:**
- a. Del peso total 114,727,681 kg de materia orgánica y húmeda de fácil biodegradación, equivalente a 73 % de los residuos sólidos totales producidos, solamente 54,545,142 kg, equivalente a 47.54% en concepto de materias secas, contienen elementos químicos que participaran en la formación del biogás.
  - b. En cambio del peso total 26,889,789 kg de materia orgánica y húmeda de difícil biodegradación, equivalente a 17 % de los residuos sólidos totales producidos 20,269,921 kg, equivalente a 75.38% en concepto de materias secas, contienen elementos químicos que participaran en la formación del biogás.

#### **5.1.2.- Resultados del balance de elementos químicos de la masa seca de la materia orgánica fácilmente biodegradable (M.O.F.B)**

En la *Hoja No 2 de 5 en ANEXO B*, se encuentran reflejados los valores resultantes en relación al porcentaje, peso seco total de los elementos químicos contenidos en cada uno de los componentes según los tipos de residuos sólidos orgánicos de fácil y difícil biodegradación.

Considerando los pesos de los elementos químicos que realmente se tomaran en cuenta para el paso siguiente, *i.e.* los balances químicos a partir de las ecuaciones planteadas en materiales y método de la sección **4.2.** para la determinación de cantidades de biogás producido.

Antes de determinar las cantidades de biogás, es de mucha importancia encontrar los valores en pesos seco, como materia prima específica, para contabilizar los valores de los elementos químicos que serán a su vez elementos de reacción para dar lugar a la mencionada balance.

**5.1.2.1-Resultados Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de los componentes orgánicos fácilmente biodegradable (m.o.f.b) Rf:Hoja No2 de 5 ANEXO B**

**Tabla 6. Resultados del balance de masa de M.O.F.B.**

	<b>MASAS UNITARIAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
1	10,091,595 kg de Carbono (C)	26.45%
2	2,603,301 Kg de Hidrógeno (H)	6.82%,
3	16,792,908 kg de Oxígeno (O)	44.02%
4	3,080,239 kg de Nitrógeno (N)	8.07%
5	129,162 kg de azufre o Sulfuro (S)	0.34%
6	8,166,644 kg de Cenizas (Cz)	14.30%
<b>SUB- TOTAL MASA CHONKS 38,151,998 kg</b>		<b>100.00%</b>
7	16,393,144 kg de Potasio (K) y otros que componen los olio gas	30.05%
<b>TOTAL MASA SECA DE M.O.F.B</b>		<b>TOTAL MASA CHONKS DE M.O.F.B</b>
<b>54,545,142 kg</b>		<b>38,151,998 kg + 16,393,144= 54,545,142 kg</b>

En la tabla 6 del total **54,545,142 kg** de materia seca correspondientes a la Componentes orgánica de fácil biodegradación se puede observar que 38,151,998 kg se distribuyen en:

1. Cinco elementos químicos con los respectivos valores en peso unitarios y su equivalencias porcentuales relacionados con los valores del peso total 38,151,998 kg que representan el 100% de los elementos químicos analizados estequiometricamente. A continuación se enumeran dichos valores con sus correspondientes porcentajes:
  - a. 10,091,595 kg de Carbono (C) equivalente a 26.45%
  - b. 2,603,301 kg de Hidrogeno (H) equivalente a 6.82%,
  - c. 16,792,908 kg de Oxigeno (O) equivalente a 44.02%
  - d. 3,080,239 kg de Nitrógeno (N) equivalente a 8.07% y
  - e. 129,162 kg de azufre o Sulfuro (S) equivalente a 0.34%
  
2. Un elemento físico también con su respectivo valor en peso 5,454,793 kg de Cenizas (Cz), equivalente a 14.30% del valor total 38,151,998 kg correspondiente a los elementos químicos analizados.
  
3. En nuestro caso de estudio se desprecia el valor restante que probablemente fuera atribuido al elemento químico el Potasio (K) y otros que componen los oliogases,

16,393,144 kg equivalente a 30.05% del valor total 54,545,142 kg correspondiente al total de la masa seca analizada.

**5.1.2.2.-Resultados Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de la materia orgánica difícilmente biodegradable (M.O.D.B) Rf: Hoja No 2 de 5 en ANEXO B**

**Tabla 7. Resultados de elementos químicos contenidos en los M.O.D.B.**

	<b>MASAS UNITARIAS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
1	11,086,879 kg de Carbono (C)	56.56%
2	1,418,561 kg de Hidrogeno (H)	7.24%,
3	6,237,400 kg de Oxígeno (O)	31.82%
4	637,205 kg de Nitrógeno (N)	3.25%
5	20,966 kg de azufre o Sulfuro (S)	0.11%
6	201,493 kg de Cenizas (Cz)	1.03%
	<b>SUB- TOTAL MASA CHONKS 19,602,505 kg</b>	<b>100.00%</b>
7	667415 kg de Potasio (K) y otros que componen los oliogas	30.05%
	<b>TOTAL MASA SECA DE m.o.d.b</b>	<b>TOTAL MASA CHONKS DE m.o.d.b</b>
	<b>19,602,505 kg</b>	<b>19,602,505 kg + 667,415= 20,269,920 kg</b>

En la tabla de resumen colocada arriba se observan que del total 20,269,921 kg de materia seca correspondientes a la componente orgánica de difícil biodegradación solamente la cantidad 19,602,505kg de materia seca se distribuyen como sigue:

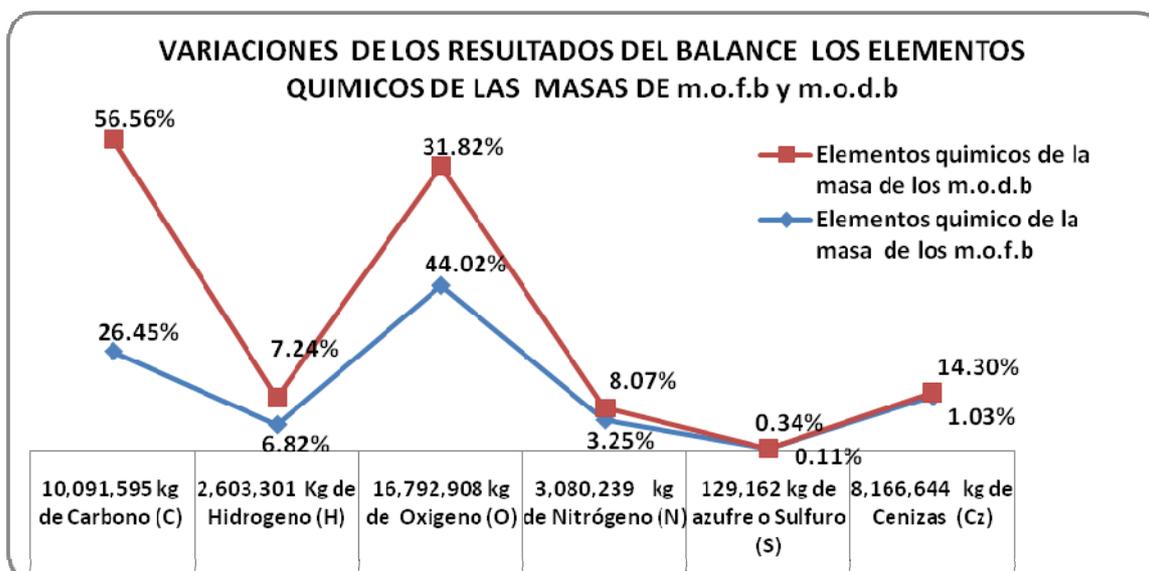
1. Cinco elementos químicos con los respectivos valores en peso unitarios y sus equivalencias porcentuales relacionados con los valores del peso total 19,602,505 kg que representan el 100%. A continuación se enumeran dichos valores con sus correspondientes porcentajes:
  - a. 11,086,879 kg de Carbono (C) equivalente a 56.56%,
  - b. 1418561 kg de Hidrogeno (H) equivalente a 7.24%,
  - c. 6237400 kg de Oxígeno (O) equivalente a 31.82%,
  - d. 637205 kg de Nitrógeno (N) equivalente a 3.25% y
  - e. 20966 kg de azufre o Sulfuro (S) equivalente a 0.11%. 100.01%
  
2. Un elemento físico también con su respectivo valor en peso 201493 kg de Cenizas (Cz) despreciando para nuestro caso de estudio el Potasio (K) equivalente aproximadamente a 1.03% del valor total 19,602,505 kg correspondiente a los elementos químicos analizados.

3. Haciendo la misma consideración para los elementos químicos contenidos en los componentes de la componentes orgánica de fácil biodegradación, en nuestro caso de estudio se desprecia el valor restante que probablemente fuera atribuido al elemento químico el Potasio (K) y otros que componen los oliogases, 667416 equivalente a 3.29% del valor total 20,269,921 kg correspondiente a los elementos químicos analizados.

**5.1.2.3- Resultantes Ponderados de Balance de elementos químicos contenidos en la masa seca de la materia orgánica fácil y difícilmente biodegradable (M.O.F.B) (M.O.D.B) Rf: Hoja No2 de 5 en ANEXO B**

*Tabla 8. Resultados de balance de elementos químicos contenidos en los M.O.F.B y M.O.D.B*

	<b>MASAS UNITARIAS M.O.F.B</b>	<b>%</b>	<b>MASAS UNITARIAS M.O.D.B</b>	<b>%</b>
1	10,091,595 kg de Carbono (C)	26.45	11,086,879 kg de Carbono (C)	56.56
2	2,603,301 kg de Hidrogeno (H)	6.82	1,418,561 Kg de Hidrogeno (H)	7.24
3	16,792,908 kg de Oxigeno (O)	44.02	6,237,400 kg de Oxigeno (O)	31.82
4	3,080,239 kg de Nitrógeno (N)	8.07	637,205 kg de Nitrógeno (N)	3.25
5	129,162 kg de azufre o Sulfuro (S)	0.34	20,966 kg de azufre o Sulfuro (S)	0.11
6	8,166,644 kg de Cenizas (Cz)	14.30	201,493 kg de Cenizas (Cz)	1.03
	<b>SUB- TOTAL MASA CHONKS 38,151,998 kg</b>	<b>100</b>	<b>SUB- TOTAL MASA CHONKS 19,602,505 kg</b>	<b>100.00</b>
7	16,393,144 kg de Potasio (K) y otros que componen los oliogas	30.05	667415 kg de Potasio (K) y otros que componen los oliogas	3.29



*Grafica 1. Resultados del balance de la MOFB y la MODB (Fuente: elaboración propia, 2012)*

#### 5.1.2.4.- Formulación de hipótesis a partir de resultados anteriores

Basándose en los resultados de la **tabla R3** y **grafica No 1**, elaborados a partir de la relación entre los sub-totales de la masa de CHONKS, de los M.O.F.B y M.O.D.B, se puede formular las hipótesis siguientes:

**Hipótesis interpretativa 1:** en el proceso de biodegradación del biogás, los porcentajes de elementos químicos disponibles son mayores en la masa de la M.O.D.B que en la masa de la M.O.F.B por lo tanto,

**Hipótesis interpretativa 2:** mientras mayor sea la componente de celulosas existente en la masa de los residuos en proceso de biodegradación anaeróbica, habrá mayor potencial de generación de biogás.

**Hipótesis interpretativa 3:** mientras mayor sean los componentes de difícil biodegradación mayor será el tiempo de generación de biogás en sitios de disposición final de residuos sólidos, por lo tanto más sostenible será cualquier proyecto de captura y cogeneración de energía.

**Hipótesis interpretativa 4:** en cambio, se observa que el valor 16,393,144 kg (30.05%) que indican el contenido de potasio, hierro, zinc, cobre, cobalto y otros elementos químicos que participan en la formación de los oliogás, en la M.O.F.B, es mucho mayor que el valor de 667,415 kg (0.29%) de la composición de M.O.D.B.

Dicha hipótesis denota una relación inversamente proporcional, que se puede expresar distintamente con la siguiente hipótesis:

**Hipótesis interpretativa 5:** la cantidad de CHONKS, de 19,602,505 kg, contenida en la materia seca de la M.O.D.B. es menor que la cantidad de CHONKS, de 38,151,998 kg, contenida en la materia seca de la M.O.F.B.

#### 5.1.2.5.- Valores en kilogramos molares resultantes de las reacciones bioquímicas de los elementos de los componentes orgánicos fácil y difícilmente biodegradables (M.O.F.B y M.O.D.B)

Resolviendo las ecuaciones 1 y 2 de la sección 4.2. para la modelación de la reacción bioquímica de los elementos químicos provenientes de los componentes orgánicos fácil y difícilmente biodegradables (M.O.F.B y M.O.D.B.), se obtuvieron valores unitarios resultantes **Ver hoja No 3 de 5 en ANEXO B**, los cuales serán presentados e interpretados a continuación:

1. Para la bio-reacción de la M.O.F.B. se contaron con 148 kilo-mol de CHONS<sup>4</sup> para un total de 135 kilo-mol de materia prima (CHONS ya hidratada); para la producción de 29 kilo-mol de CH<sub>4</sub>, 89 kilo-mol de CO<sub>2</sub> y 17 kilo-mol de NH<sub>3</sub> con un total de 135 kilo-mol de biogás.
2. En cambio para la bio-reacción de la M.O.D.B. se contaron con 426 kilo-mol de CHONS y 163 kilo-mol de H<sub>2</sub>O<sup>5</sup> para un total de 589 kilo-mol de materia prima CHONS más H<sub>2</sub>O; en la producción de 184 kilo-mol de CH<sub>4</sub>, 388 kilo-mol de CO<sub>2</sub> y 17 kilo-mol de NH<sub>3</sub> totalizando también **589** kilo-mol de biogás.

#### **5.1.2.6- Cantidades de biogás principal resultantes de la ponderación de los valores del paso anterior**

Los valores unitarios de los biogás principal son ponderados con los pesos totales de materias secas para obtener los datos definitivos que se reflejan en *hoja No 4 de 5 en ANEXO B*. Estos valores se resumen como sigue:

1. La cantidad potencial total de CH<sub>4</sub> producida y emitida al atmósfera será de 27137898 m<sup>3</sup> equivalente a 19457873 Kg o 19.458 Gigagramos (Ggr)<sup>6</sup>.
2. La cantidad potencial total de CO<sub>2</sub> producida y emitida al atmósfera será de 25820360 m<sup>3</sup> equivalentes a 51072671 Kg o 51,073 Ggr.
3. La cantidad potencial total de NH<sub>3</sub> producida y emitida al atmósfera será de 11299428 m<sup>3</sup> equivalente a 8711859 Kg o 8,712 Ggr.

#### **5.1.2.7- Eficiencia de producción de biogás principales resultantes de los valores del paso anterior**

A partir de la *hoja No 5 de 5 en ANEXO B* y la *grafica No 2* colocada a bajo se puede observar que la producción potencial del biogás se distribuye siguiendo una orden promedio de 45 % de metano, 41 % de dióxido de carbono y el restante 14 % se reporta como amonio<sup>7</sup>.

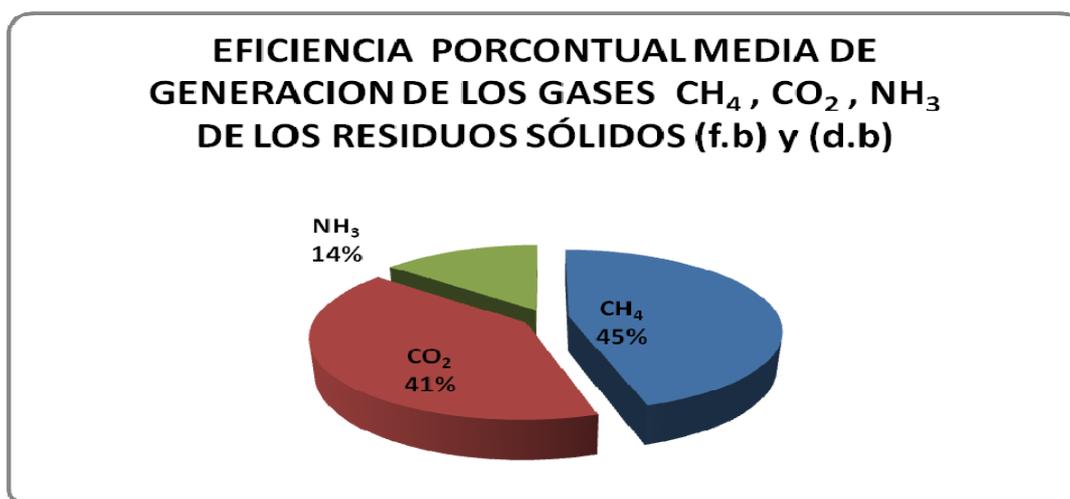
---

<sup>4</sup> La reacción indica un valor negativo – 13 kilo-mol de H<sub>2</sub>O , lo que quiere decir que estos **m.o.f.b** ya cuentan con suficiente contenido de humedad inicial H<sub>2</sub>O para facilitar una adecuada proceso de biodegradación en condición anaerobia.

<sup>5</sup> La reacción indica un valor positivo 163 kilo-mol de H<sub>2</sub>O , lo que quiere decir que estos **m.o.d.b** no cuentan con suficiente contenido de humedad inicial H<sub>2</sub>O para facilitar una adecuada proceso de biodegradación en condición anaerobia, por lo tanto hay que añadir agua.

<sup>6</sup> Unidad de medida adoptada por el grupo IPCC (Intergovernmental Panel fo Climatic Change), equivalente a 1,000,000 de Kilogramos.

<sup>7</sup> Cabe mencionar que se trata de datos teóricos potenciales aproximados, normalmente se presentan rangos de producción de dichos biogás. Además en relleno sanitarios se producen otros gases principales considerables tal como H<sub>2</sub>S y los oliogas que se presentan a nivel de trazas.



*Grafica 2. Composición de los principales componentes del biogás producido*

## 5.2- Cantidad de biogás registrados desde el sistema de medición directa

Al aplicar los instrumentos de mediciones, como el gasómetro se pudo observar que:

- a. La generación de biogás fue diferente dependiendo de la localización de cada uno de los sitios seleccionados para las perforaciones.
- b. En el sitio 2 no se registró producción de biogás debido a que el material acumulado estaba compuesto mayoritariamente por desechos de construcción, situación que se evidenció durante la perforación.

### 5.2.1- Volúmenes de biogás registrados

Los volúmenes de biogás registrados durante los muestreos se presentan en la Tabla 9.

*Tabla 9. Volumen de biogás producido (Fuente: elaboración propia)*

<b>Registro de volúmenes de biogás producidos en el tiempo.</b>						
Fecha	Sitio 1	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5	Producción (m <sup>3</sup> /d)	Promedio (m <sup>3</sup> /h)
	Producción (m <sup>3</sup> /d)	Promedio (m <sup>3</sup> /h)	Producción (m <sup>3</sup> /d)	Promedio (m <sup>3</sup> /h)		
03/02/2004	9,34	1,87	-	-	11,21	5,61
04/02/2004	17,00	1,89	-	-	18,89	9,45
05/02/2004	17,84	1,78	22,21	3,71	45,54	11,39
06/02/2004	20,56	2,28	-	-	22,84	11,42
07/02/2004	16,87	1,87	15,67	3,11	37,52	9,38
10/02/2004	25,92	2,36	-	-	28,28	14,14
<b>Promedio</b>						<b>9,45</b>

La Tabla 9 contiene los siguientes resultados:

1. El volumen promedio registrado a partir del sistema de red de pozo establecido es de 9,45 m<sup>3</sup>/h.
2. La producción promedio por hora permite establecer que la producción registrada en el Sitio 4, donde se encuentran los residuos sólidos que tienen entre 5 y 10 años de antigüedad, es el de mayor producción.

### **5.2.2- Calidad de biogás registrado**

Se analizó también la calidad del biogás determinando la concentración de metano utilizando el método de Absorción en Solución de Hidróxido de Sodio estabilizada, obteniéndose:

1. Concentraciones promedio de metano alrededor del 60%
2. El biogás producido en el Sitio 1 fue el de mayor contenido de metano con 62.4%, seguido por el del Sitio 4 con 61.4% y el del Sitio 3 con 59.8%.

Los dos resultados anteriores permiten afirmar que la calidad del biogás es similar en todo el relleno sanitario.

Cabe mencionar que estas mediciones no reflejan la capacidad total y real de producción de biogás debido a:

- La profundidad de los pozos que son menores que la profundidad media del vertedero que es de 12 metros aproximadamente.
- Que no se espera que a una profundidad mayor, excepto el nivel del fondo del relleno, existe mucha materia orgánica con potencialidad significativa para producir biogás, puesto que en una investigación anterior<sup>8</sup>, se logró establecer la velocidad, entendida como tiempo de biodegradación de los materiales de fácil y de difícil biodegradación, a 3.33 años.
- Las características del vertedero en relación a su nivel de operación que facilita la dispersión y difusión del flujo de biogás producidos.
- Que no se realizó proceso de inducción de energía extra para potenciar y optimizar la salida del biogás.

---

<sup>8</sup> Determinación de velocidad de Biodegradación de los residuos sólidos en relleno sanitario de Mateare, Nicaragua, asociado con generación de biogases como subproductos que asegura la sostenibilidad de dicha esta tecnología.

- Publicado en el marco del II Simposio Iberoamericano sobre Ingeniería de Residuos, celebrado en Barranquilla (Colombia) los días 24 y 25 de Septiembre de 2009. Coautores Msc Ing. Edouard Jacotin y Msc Lic. Rodolfo Jaens,
- Publicado como documento presentado en concepto de investigaciones doctoral, de estudiante de AIU, en el Marco de cumplimiento de asignatura de programa doctoral, 2012 Autor Msc Ing. Edouard Jacotin

### 5.2.3- Geometría de espacio de movilidad de los biogás y Volúmenes de biogás disponible en el vertedero La Chureca

A. Los valores de la geometría, *Ver en ANEXO C hoja No 2*:

1. 365.74 m de radio de acción o de movilidad del biogás hacia los pozos para la captura (potencial) activa de biogás,
2. 1.50 m de radio de acción o de movilidad o transporte de los biogás hacia los pozos de monitoreo para la captura pasiva de biogás,
3. 731.47 m de diámetro de acción o de movilidad de los biogás a través de los pozos para la captura (potencial) activa de biogás,
4. 3 m de diámetro de acción o de movilidad de los biogás a través de los pozos de monitoreo para la captura pasiva de biogás,
5. 10506 m<sup>2</sup> de área tributaria a los pozos de captura activa potencial de los biogás del vertedero,
6. 7,07 m<sup>2</sup> de área tributaria a los pozos de monitoreo para la captura pasiva de los biogás del vertedero,

B. Los valores de los volúmenes registrado en proceso de monitoreo como en los pozos potenciales de captura activa de biogás se encuentra procesado en *ANEXO C Hojas No 3* y *4*, se detallan a continuación:

1. 331,128 m<sup>3</sup> de volumen de biogás pondera a partir de los registros del proceso de monitoreo,
2. 27,412,623 m<sup>3</sup> de volumen potencial de CH<sub>4</sub> estimado que puede emitir activamente en el vertedero,
3. del análisis comparativa entre los valores 27,412,623 m<sup>3</sup> correspondientes al volumen potencial de CH<sub>4</sub> estimado que puede emitir activamente en el vertedero, y el valor de 27137898 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> encontrado desde la metodología del inventario, el balance da una diferencia de 274725 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> lo cual indica que el vertedero emite 1 % más de CH<sub>4</sub> que el valor que se ha inventariado.

C. Los valores potenciales procesados a partir de mediciones directas emisibles

Las áreas volúmenes de biogás y sobre todo de metano se encuentran reflejados en los instrumentos de modelación para la medición, procesamiento y análisis de cantidades de biogás del vertedero. Dichos valores volumétricos se encuentran en *ANEXO C, hojas No 1* al *4*.

### 5.3.- Capacidad de producción de biogases y de cogeneración de energía eléctrica

En base a las metodologías anteriores y considerando<sup>9</sup>:

1. La evolución el proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos hasta llegar en la fase III (anaeróbica metanogénica), o después de haberse acumulado 1500000 m<sup>3</sup> de desechos y material de recubrimiento, o cuando haya por lo menos 35% en volumen de CH<sub>4</sub>
2. Que existe un 80% de carbono en los desechos con una tasa de humedad del 50%, estimando un 50 - 60% DE CH<sub>4</sub>, un 30 - 45% de CO<sub>2</sub>, de un 3 - 5% de COV (150 compuestos orgánicos volátiles)

Se pudo estimar:

- a. Una relación de producción de biogás de 600m<sup>3</sup> de biogás/T de materia orgánica (base seca).
- b. Una generación de energía de 550 btu/ pi<sup>3</sup> partiendo de un 55% de CH<sub>4</sub>.
- c. Una reducción del porcentaje de metano a 45 % para una generación de energía de 450 btu/pi<sup>3</sup> con la introducción de aire en la red de captación.

Tomando en cuenta estos criterios y consideraciones, se presenta a continuación la Tabla 10 en la cual se ha sistematizado y proyectado la capacidad de generación de biogases del vertedero La Chureca, así como su potencialidad de co-generación de energía eléctrica y cobertura de servicio de de la misma.

**Tabla 10. Producción y cogeneración de energía (Fuente: elaboración propia)**

<b>PRODUCCION Y COGENERACION DE ENERGIA Y POSIBLE USO.</b>					
	Desechos	Biogás	Biogás	Poder	Pob
Año	TM/año	producido	captado	potencial	Servida
		MM <sup>3</sup> /año	MM <sup>3</sup> año	MW	viv/ MW
2006	429670	130	104	0.52	9193
2007	522653	158	126	0.64	11182
2008	543980	165	131	0.66	11638
2009	566177	171	137	0.69	12113
2010	589280	178	142	0.72	12608
2011	613325	185	148	0.75	13122

- <sup>9</sup> Bogner, Jean E. "Gas Movement Through Fractured Landfill Cover Materials," proceedings of the Ninth Annual Madison Waste Conference Department of Engineering Professional Development, University of Wisconsin – Madison, September 9-10. 1986
- Grahame J. Farquhar , Edward A. McBean , Frank A. Rovers. Solid Waste Landfill Engineering and Design . Edit. PTR---PH .

2012	638352	193	154	0.78	13658
2013	664400	201	160	0.81	14215
2014	691511	209	167	0.84	14795
2015	719728	218	174	0.88	15399
2016	749096	227	181	0.91	16027
TOTAL	6728173	2035	1625	8.21	143949
PROMEDIO	611652	185	148	0.75	13086
PROMEDIO ACTUAL	5674326	1716	1370	6.72	117894

## **VI.- CONCLUSIONES**

Se ha podido lograr el objetivo planteado al inicio de la investigación:

A lo largo de los 30 años, durante el proceso de biodegradación de los residuos sólidos dispuestos en el vertedero La Chureca, sobre todo a partir de la componente orgánica en condiciones anaeróbicas generó grandes volúmenes de biogás obteniéndose concentraciones de metano CH<sub>4</sub> que oscilan entre 60% y 62.4%. Dichos valores de CH<sub>4</sub> no resultan ser de importancia en comparación con los valores emitidos de este mismo biogás a nivel global. Sin embargo existe la posibilidad convertir dicho volumen de metano en activo socio-ambiental y económico, y por ende en un proyecto auto-sostenible, partiendo de un proceso de captura y cogeneración de energía eléctrica.

## **VI.-RECOMENDACIONES**

A partir de los logros obtenidos y las deficiencias encontradas en el proceso de inventario de los biogás generado en el vertedero La Chureca, se recomienda realizar un estudio más minucioso para la determinación de la edad biológica real de dicho vertedero y de esta forma ajustar mejor la potencialidad de generación de biogases por ende su capacidad de co-generación de energía eléctrica. Eso influirá mucho en las inversiones iniciales del proyecto de captura y explotación de biogases de este vertedero.

Por lo antes mencionado se recomienda también mantener los puntos de monitoreo de flujo y calidad del biogás e implementar otros pozos o puntos de monitoreo a mayores profundidades. Se puede aprovechar, al mismo tiempo, para recoger muestras procedentes del proceso de perforación para su posterior análisis físico químico de los parámetros relacionados con el proceso de biodegradación anaeróbica (DBO<sub>5</sub>, DQO, Macro Nutrientes, pH, etc.) y para realizar, pruebas de la actividad metanogénica por capas identificadas.

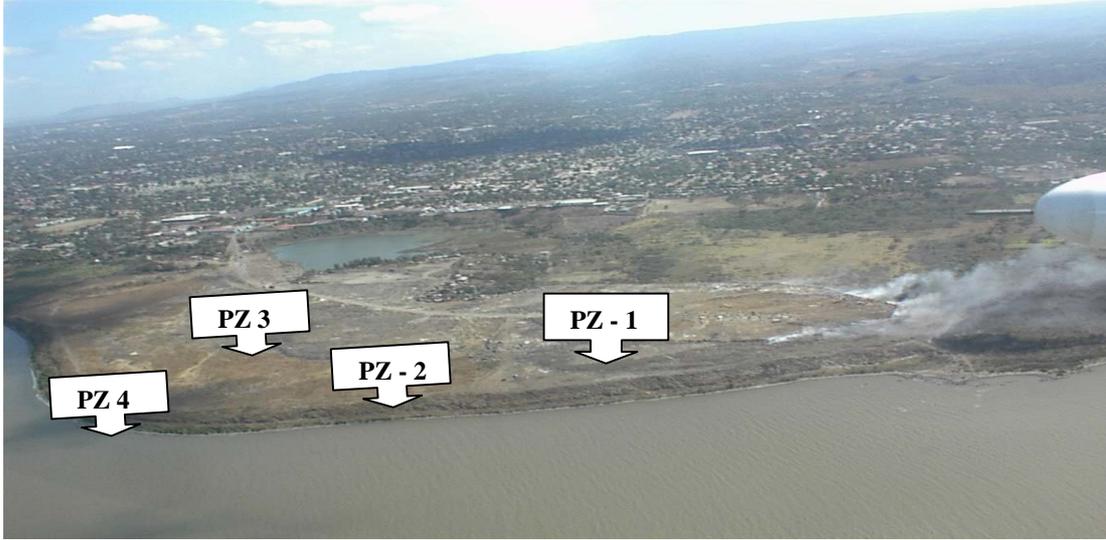
## **VII.- BIBLIOGRAFIA**

1. Farquhar Grahame J., Edward A. McBean, Rovers Frank A., 1994. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Editorial Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
2. Howard Peavi S., Donald Rome R., Tchobanoglous George, 2003. Environmental Engineering. Editorial Mc Graw-Hill.
3. Tchobanoglous George, Theisen Hilary, Vigil Samuel A., 1994. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Editorial McGraw-Hill / Interamericana de España S.A.
4. J. Glynn Henry y Gary Heinke, 1999. Ingeniería Ambiental. Segunda Edición, Prentice Hall.
5. Bogner, Jean E. 1986. Gas Movement Through Fractured Landfill Cover Materials. Madison, September 9-10.
6. Ham Robert, 1979. Processing and Utilization of Gas from Sanitary Landfills. EPA 600/2-79-001.
7. Metcalfe, D., 1982. Modeling Gas Transport from Waste Disposal Sites, Master Thesis, Department of Civil Engineering, University of Waterloo. Waterloo, Ontario.
8. Rettenberger, G., 1987. Trace Composition of Landfill Gas in "Proceedings of International Symposium on Process. Technology, and Environmental Impact of Sanitary Landfill", Cagliari, Sardinia, Italy (October 19-23, 1987).

## VIII.- APENDICE

### 8.1.- APENDICE A

*Imagen No 1.*



*Imagen No2*



*Imagen No3*



*Imagen No4.*



*Imagen No5*



8.2.-APENDICE B

Hoja 1 de 5

ESTIMACION DE CANTIDAD POTENCIAL DE CASES METANO, DIOXIDO DE CARBONO Y AMONIACO GENERADO Y/O EMITIDOS DURANTE EL PROCESO DE BIODEGRADACION Y/O DE ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO DE MANAGUA										
BASE DE DATOS ( Residuos generados, Composición y tipos , peso húmedo , peso seco , COD Y FCM)										
CONCEPTOS Y COMPONENTES	(kg)	% Fácil y Dificilm.	Kg Fácil y Dificilm.	Total depositados año 2000	MASA ATÓMICA DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL COMPUESTO					
					Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	
<b>Peso total RS húmedo</b>	<b>156517981.6</b>									
Peso total Mat. Org. húm.Fac.Biodegradables		0.73	114,727,681	Gigagramos RSU	12.01	1.01	16	14.01	32.06	
Peso total Mat. Org. hum. Dific. Biodegradables		0.17	26,889,789							
<b>Pesos Fácilmente Biodegradables</b>	<b>(kg)</b>	<b>%Hum.</b>	<b>(kg)</b>							
Residuos de comida	43778079	0.70	30644656							
Papel periódico	11989277	0.04	479571							
papel de oficina	18234345	0.02	364687							
cartón	21881214	0.05	1094061							
Residuos de Jardín y fibra de madera	18844765	0.60	11306859							
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>114,727,681</b>		<b>31,488,914</b>							
<b>Pesos húmedos Dificilmente Biodegradables</b>	<b>(kg)</b>	<b>%Hum.</b>	<b>(kg)</b>							
Textiles	1940823	0.10	194082							
Madera	12552742	0.08	1006730							
Goma +Plsct, B.D	8091980	0.05	418355							
Cuero	1158233	0.01								
Residuos de Jardín , C.D	3146011	0.50								
<b>SUB - TOTAL</b>	<b>26,889,789</b>		<b>1,619,168</b>							
<b>Pesos Fácilmente Biodegradables</b>	<b>%Seco</b>	<b>P. Seco (kg)</b>	<b>P.seco-P.Lign (kg)</b>	<b>156.52</b>						
Residuos de comida	0.30	13133424	10112736							
Papel periódico	0.96	11509706	8862474							
papel de oficina	0.98	17869658	13759637							
cartón	0.95	20787153	16006108							
Residuos de Jardín y fibra de madera	0.40	7537906	5804188							
<b>SUB - TOTAL</b>		<b>70,837,847</b>	<b>54,545,142</b>							
<b>Pesos Dificilmente Biodegradable</b>	<b>%Seco</b>	<b>P. Seco (kg)</b>	<b>P.seco-P.Lign (kg)</b>							
Textiles	0.90	1746740.67	1344990							
Madera	0.92	11546012.21	8890429							
Goma +Plsct, B.D	0.95	7673624.30	7673624							
Cuero	0.99	1149662.14	1149662							
Residuos de Jardín , consistencia densa	0.50	1573005.72	1211214							
<b>TOTAL</b>		<b>23,689,045</b>	<b>20,269,921</b>							

Resultados de Caracterización y de análisis fisico-químicos de los Residuos Sólidos		
Componentes	(%) comp.	(%)Humedad
Res.Comida	27.97	70.00
Resto de jardín	12.04	60.00
Papel periódico	7.66	4.00
Papel de	11.65	2.00
Cartón	13.98	5.00
Madera	8.02	20.00
Resto de jardín C.D.	2.01	50.00
Textil	1.24	10.00
Cuero	0.74	10.00
Goma	0.74	2.00
Plástico	4.43	2.00
Vidrio	2.16	2.00
Metal	2.82	3.00
Mat. de construcción	2.55	0.00
Tierra Y Otros	2.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

Hoja 2 de 5

COMPONENTES	CALCULOS DE ELEMENTOS QUIMICOS DE LOS MATERIAS ORGÁNICOS SECOS CONSTITUTIVOS DE LOS GASES Y SIGLAS						
	CARBONO C (kg)	HIDROG. H (kg)	OXIGENO O (kg)	NITROG. N (kg)	AZUFRE S (kg)	CENIZAS CNZS (kg)	(SUMA)
	<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS RAPIDAMENTE BIODEGRADABLES</b>						
Porcentaje en peso seco	0,230	0,064	0,376	0,110	0,004	0,110	0,89
<b>Peso seco Residuos de comida</b>	<b>2325929</b>	<b>840539</b>	<b>4938167</b>	<b>1444677</b>	<b>52534</b>	<b>1444677</b>	<b>11046523</b>
Porcentaje en peso seco	0,160	0,040	0,404	0,060	0,002	0,100	0,77
<b>Peso seco Papel y cartón</b>	<b>6180515</b>	<b>1545129</b>	<b>15605800</b>	<b>2317693</b>	<b>77256</b>	<b>3862822</b>	<b>29589215</b>
Porcentaje en peso seco	0,140	0,060	0,380	0,040	0,003	0,160	0,78
<b>Peso seco Residuos de Jardín</b>	<b>1926349</b>	<b>1072179</b>	<b>6790470</b>	<b>714786</b>	<b>53609</b>	<b>2859145</b>	<b>13416539</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>10432793</b>	<b>3457847</b>	<b>27334438</b>	<b>4477156</b>	<b>183399</b>	<b>8166644</b>	<b>54052277</b>
	ELEMENTOS		SIGLAS				
	CARBONO C (kg)	HIDROG. H (kg)	OXIGENO O (kg)	NITROG. N (kg)	AZUFRE S (kg)	CENIZAS CNZS (kg)	(SUMA)
	<b>CONSTITUYENTES ORGANICOS DIFICILMENTE BIODEGRADABLES</b>						
Porcentaje en peso seco	0,550	0,066	0,312	0,046	0,001	0,025	1,00
<b>Peso seco Textiles</b>	<b>739745</b>	<b>115285</b>	<b>544983</b>	<b>80350</b>	<b>1747</b>	<b>43669</b>	<b>1525778</b>
Porcentaje en peso seco	0,737	0,073	0,176	0,047	0,001	0,004	1,04
<b>Peso seco Plásticos (PBD)</b>	<b>6548690</b>	<b>842859</b>	<b>2032098</b>	<b>541508</b>	<b>11546</b>	<b>42720</b>	<b>10019422</b>
Porcentaje en peso seco	0,495	0,060	0,477	0,002	0,001	0,015	1,05
<b>Peso seco Madera</b>	<b>3798444</b>	<b>460417</b>	<b>3660319</b>	<b>15347</b>	<b>7674</b>	<b>115104</b>	<b>8057306</b>
<b>SUBTOTAL</b>	<b>11086879</b>	<b>1418561</b>	<b>6237400</b>	<b>637205</b>	<b>20966</b>	<b>201493</b>	<b>19602505</b>

CALCULO DE LA COMPOSICION MOLAR DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS DESPRECIANDO LA CENIZA					
TOTAL MOLES	C	H	O	N	S
RAPIDAMENTE BIODEGRADABLES	840266.0	2577525.7	1049556.8	219860.1	4028.8
LENTAMENTE BIODEGRADABLES	923137.3	1404516.1	389837.5	45482.2	654.0
RAPIDAMENTE BIODEGRADABLES	3.82	11.72	4.77	1.00	
LENTAMENTE BIODEGRADABLES	20.30	30.88	8.57	1.00	
ECUACION RESULTANTE BALANCEADA					
RAPIDAMENTE BIODEGRADABLES					
MOLES	C <sub>4</sub>	H <sub>12</sub>	O <sub>5</sub>	N	
KILOGRAMOS	148	13			
	135				
				2	2
				CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
				29	89
					+
					1
					NH <sub>3</sub>
					17
					135
LENTAMENTE BIODEGRADABLES					
MOLES	C <sub>20</sub>	H <sub>31</sub>	O <sub>9</sub>	N	
KILOGRAMOS	426	163	9		
	589				
				11	9
				CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
				184	388
					+
					1
					NH <sub>3</sub>
					17
					589

**Inventario de Gases de relleno sanitario, captura y utilización.**

Hoja 4 de 5

DETERMINACION DE VOLUMEN DE METANO , DIOXIDO DE CARBONO Y AMONIACO PRODUCIDOS , DESDE SUSTRATOS FACILMENTE Y DIFICILMENTE BIODEGRADABLES SUCCESIVAMENTE			
	(kg/m3 )		
Peso específico del metano	0.717		
Peso específico del dióxido de carbono	1.978		
Peso específico del amoníaco	0.771		(m3 )
VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO (facilm. biodegr.)			14901955
VOLUMEN DE DIOXDO DE CARBONO PRODUCIDO (facilm. biodegr.)			16499718
VOLUMEN DE AMONIACO PRODUCIDO (facilm. biodegr.)			10569033
SUBTOTAL			<b>41970705</b>
VOLUMEN DE METANO PRODUCIDO ( Dificilm. biodegr.)			12235944
VOLUMEN DE DIOXDO DE CARBONO PRODUCIDO ( Dificilm. biodegr.)			9320642
VOLUMEN DE AMONIACO PRODUCIDO ( Dificilm. biodegr.)			730395
SUBTOTAL			<b>22286981</b>
VOLUMEN TOTAL DE GAS PRODUCIDOS (Facilmente y difícilmente biodegr.)			<b>64257686</b>
	M3 / año	KG / año	Gg/Año
CANTIDAD TOTAL DE METANO CH <sub>4</sub> PRODUCIDO Y EMITIDO AL ATMÓSFERA	27137898	19457873	19.458
CANTIDAD TOTAL DE DIOXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> PRODUCIDO Y EMITIDO AL ATMÓSFERA	25820360	51072671	51.073
CANTIDAD TOTAL DE AMONIACO NH <sub>3</sub> PRODUCIDO Y EMITIDO AL ATMÓSFERA	11299428	8711859	8.712
DETERMINACION DE EFICIENCIA PORCENTUAL DE LOS TRES GASES			
<b>RAPIDAMENTE BIODEGRADABLES</b>			
Metano (%)			35.51
Dióxido de carbono (%)			39.31
Amoníaco (%)			25.18
% DE GAS TOTAL (considerando 3 gases)			<b>100.00</b>
<b>LENTAMENTE BIODEGRADABLES</b>			
Metano (%)			54.90
Dióxido de carbono (%)			41.82
Amoníaco (%)			3.28
% DE GAS TOTAL (considerando 3 gases)			<b>100.00</b>
EFICIENCIA PORCENTUAL MEDIA DE GENERACION DE LOS GASES CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS			45.20
			40.57
			14.23

Página 4

DETERMINACION DE LA CANTIDAD TOTAL TEORICA DEL GAS GENERADO POR PESO UNITARIO DE RESIDUOS SOLIDOS			
<b>MATERIALES ORGANICOS</b> Basado en peso seco		FORMULA : (m <sup>3</sup> de gas Fácilmente + Dfícilmente Biodegradables) / ( kg de residuos sólidos Fácilmente + Dfícilmente Biodegradables)	
<b>Fácilmente Biodegradables</b>		CH <sub>4</sub>	0.21
		CO <sub>2</sub>	0.23
		NH <sub>3</sub>	0.15
	<b>TOTAL</b>		<b>0.59</b>
<b>Difícilmente Biodegradables</b>		CH <sub>4</sub>	0.52
		CO <sub>2</sub>	0.39
		NH <sub>3</sub>	0.03
	<b>TOTAL</b>		<b>0.94</b>
<b>MATERIALES ORGANICOS</b> Basado en peso Húmedo		FORMULA : (m <sup>3</sup> de gas Fácilmente + Dfícilmente biodegr.) / ( kg de residuos sólidos Fácilmente + Dfícilmente Biodegradables)	
<b>Fácilmente Biodegradables</b>		CH <sub>4</sub>	0.11
		CO <sub>2</sub>	0.12
		NH <sub>3</sub>	0.07
<b>Difícilmente Biodegradables</b>		CH <sub>4</sub>	0.09
		CO <sub>2</sub>	0.07
		NH <sub>3</sub>	0.01
<b>MATERIALES ORGANICOS E INORGANICOS</b> Basado en peso Húmedo (m <sup>3</sup> de gas total / kg de residuos sólidos )		<b>0.41</b>	
<b>Fácilmente Biodegradables</b>		CH <sub>4</sub>	0.17
<b>Difícilmente Biodegradables</b>		CO <sub>2</sub>	0.16
<b>No Biodegradables</b>		NH <sub>3</sub>	0.07

8.3.-APENDICE C

<i>Hoja No 1" de 4"</i>							
DETERMINACION DE AREAS DEL VERTEDERO LA CHURECA QUE REALMENTE PRODUCIAN CH <sub>4</sub> EN 2010							
Edad cronológica del vertedero hasta 2010.	Edad biológica del vertedero	Relación entre edad biológica y edad cronológica del vertedero	Relación ajustada entre edad cronológica y edad biológica del vertedero	Área real del vertedero hasta 2010	Área que realmente produce biogás		
(años)	(años)			(Manzana)	(Manzana)	(Hectárea)	(m <sup>2</sup> )
30	3,33	0,111	0,033	44	4,88	3,44	29259

<i>Hoja No 2" de 4"</i>							
DETERMINACION DE LE GEOMETRIA DEL MECANISMO DE MONITOREO DE BIOGAS DEL VERTEDERO LA CHURECA EN 2010							
Diámetro estimado para captura de biogás en vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Radio estimado para captura de biogás en vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Área tributaria estimada o para el movimiento de biogás en cada uno de los pozos del vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Diámetro de acción estimado y sugerido para captura de monitoreo pasivo de biogás en el vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Área estimada para monitorear el movimiento de biogás del vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Radio utilizado para de monitorear movimiento pasivo de biogás en el vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Diámetro aplicado en monitoreo de movimiento pasivo de biogás en vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .	Área aplicada para monitorear movimiento pasivo de biogás en vertedero, incluyendo CH <sub>4</sub> .
D (m)	R (m)	A (m <sup>2</sup> )	D (m)	A (m <sup>2</sup> )	R (m)	D (m)	A (m <sup>2</sup> )
731,5	365,74	10506	4	2,00	1,5	3	7,07

**Inventario de Gases de relleno sanitario, captura y utilización.**

<i>Hoja No 3" de 4"</i>							
<b>DETERMINACION DE VOLUMENES DE BIOGAS, INCLUYENDO EL CH<sub>4</sub>, PRODUCIDOS CORELACIONADOS CON LOS VOLUMENES INVENTARIADO EN 2010. ESCENARIO QUE CONTEMPLA 60% EN CONCEPTO DE CH<sub>4</sub> DEL 100% DE BIOGAS PRODUCIDOS.</b>							
<b>Volumen monitoreado en captura pasiva de biogás en el vertedero incluyendo CH<sub>4</sub>.</b>	<b>Volumen estimado y proyectado para captura activa de biogás incluyendo CH<sub>4</sub></b>	<b>Volumen estimado de biogás incluyendo CH<sub>4</sub> a ser capturado activamente en el vertedero.</b>	<b>Porcentaje de CH<sub>4</sub> contenido en muestra de biogás monitoreado</b>	<b>Volumen estimado de CH<sub>4</sub> que realmente será capturado activamente en el vertedero.</b>	<b>Volumen inventariado de CH<sub>4</sub></b>	<b>Diferencia entre el Volumen estimado de CH<sub>4</sub> vía resultados de monitoreo y volumen de CH<sub>4</sub> inventariado</b>	<b>Porcentaje representativo entre volumen estimado y monitoreado</b>
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /año		m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año		
9,45	37,80	331128	0,6	27412623	27137898	274725	1,00

<i>Hoja No 4" de 4"</i>							
<b>DETERMINACION DE VOLUMENES DE BIOGÁS, INCLUYENDO EL CH<sub>4</sub>, CORELACIONADO CON LOS VOLUMENES INVENTARIADOS EN 2010. ESCENARIO QUE CONTEMPLA EL 45.2% EN CONCEPTO DE CH<sub>4</sub> DEL 100% DE BIOGÁS PRODUCIDO.</b>							
<b>Volumen monitoreado en captura pasiva de biogás en el vertedero incluyendo CH<sub>4</sub>.</b>	<b>Volumen estimado y proyectado para captura activa de biogás incluyendo CH<sub>4</sub></b>	<b>Volumen estimado de biogás incluyendo CH<sub>4</sub> a ser capturado activamente en el vertedero.</b>	<b>Porcentaje de CH<sub>4</sub> contenido en biogás de residuos sólidos inventariado.</b>	<b>Volumen estimado de CH<sub>4</sub> que realmente será capturado activamente en el vertedero.</b>	<b>Volumen inventariado de CH<sub>4</sub></b>	<b>Diferencia entre el Volumen estimado de CH<sub>4</sub> vía resultados de monitoreo y volumen de CH<sub>4</sub> inventariado</b>	<b>Porcentaje representativo entre volumen estimado y monitoreado</b>
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /año		m <sup>3</sup> /año	m <sup>3</sup> /año		
9,45	37,80	331128	0,452	20650843	27137898	-6487056	-31,41

## **8.4 APENDICE D**

### **8.4.1.-Equipo científico que participó en proceso de monitoreo directo del biogás**

Msc, Ing Edouard Jacotin

Msc. Lig. Rodolfo Jaen Serrano

Ing. Vidal Caceres

Ing Nestor Font

Dirigió el proceso investigativo:

Msc, Ing Edouard Jacotin

Docente Investigador en el Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente CIEMA-UNI.

