

**ANÁLISIS DE UN VERTEDERO CONTROLADO A ESCALA Y VALIDACIÓN DE UN
MODELO DE GENERACIÓN DE LIXIVIADOS**

**JUAN MIGUEL MARTÍNEZ BUENDÍA
JORGE FRANCISCO MARTÍNEZ HALBLAUB**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CARTAGENA - BOLÍVAR**

2012

**ANÁLISIS DE UN VERTEDERO CONTROLADO A ESCALA Y VALIDACIÓN DE UN
MODELO DE GENERACIÓN DE LIXIVIADOS**

**JUAN MIGUEL MARTÍNEZ BUENDÍA
JORGE FRANCISCO MARTÍNEZ HALBLAUB**

**INGENIERO VÍCTOR FERNÁNDEZ
DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CARTAGENA - BOLÍVAR**

2012

RESUMEN

En todo relleno sanitario se presentan fenómenos de degradación de la materia orgánica confinada, los cuales se deben a reacciones químicas que reducen notablemente la masa de residuos y transforman el material en líquidos lixiviados y gases de vertedero (Biogás). Estos dos factores se convierten en elementos críticos a la hora de evaluar la operación del relleno, sus expectativas de durabilidad y los posibles riesgos ambientales y sociales que pudiera traer consigo.

En la presente investigación se diseñó un relleno sanitario a escala a partir de los residuos sólidos de la Universidad Tecnológica De Bolívar (UTB). El prototipo consiste de un contenedor en forma de pirámide invertida elaborado en fibra de vidrio con capacidad de 392.6L y el cual fue dotado de un sistema de drenaje para los lixiviados y otro de escape para los gases producidos.

El contenedor fue abastecido totalmente con residuos orgánicos producidos en las áreas sociales de la UTB y luego confinados y compactados bajo condiciones similares a las de un relleno real. Durante la investigación se simuló algunas características meteorológicas y se midió la variable de respuesta propuesta (la producción de lixiviados); luego de esto se aplicó un análisis teórico con un modelo de balance hídrico para contrastar los resultados experimentales, obteniendo un nivel de precisión dentro del 5% de error.

Palabras Claves: Lixiviados, Relleno Sanitario, Residuos Sólidos, Balance Hídrico.

ABSTRACT

Around the landfill a lot of phenomenas of degradation, due to chemical reactions that reduce the mass of waste material and convert the liquid leachate and landfill gas (Biogas) are presented. These two factors become critical elements to evaluate the operation of the landfill, their expectations for durability and potential environmental and social risks that might entail.

In this research a model of landfill was designed under different operations for the disposal of solid waste at the Universidad Tecnologica de Bolívar (UTB). This prototype consists of a container in the form of truncated pyramid made of glass fiber with a capacity of 392.6L and it is equipped with a drainage system for leachate and gas extraction.

The container was stocked entirely with organic waste produced in the social areas of the UTB and then confined and compacted under similar conditions to those of a real landfill. During the research, some weather patterns were simulated and measured response variable proposed, (leachate), then this theoretical analysis was applied with a water balance model to compare the experimental results, obtaining a level of precision within the 5% error.

Key Words: Landfill Gas, Leachate, Modeling, Landfill Health, Solid Waste.

CONTENIDO

	Pág.
CONTENIDO	5
INTRODUCCIÓN	8
1. OBJETIVO GENERAL	11
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. JUSTIFICACIÓN	12
3. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER EN EL VERTEDERO	12
4. HIPÓTESIS DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN	20
5. DISEÑO DE LA CELDA EXPERIMENTAL	21
6. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN	26
7. 1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DENTRO DE LA CELDA	26
8. 6.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS	26
9. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	30
10. BALANCE HÍDRICO TEÓRICO	33
11. ARTICULO CIENTÍFICO	51
CONCLUSIONES	37

	Pág.
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.	39
PAGINAS DE INTERNET	41
ANEXOS	43
ANEXO 1 CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA	43
ANEXO 2 CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS	45
ANEXO 3 CAPTACIÓN DE GASES CON BOMBAS DE ULE	47
ANEXO 4 CAPTACIÓN DE GASES CON BOLSAS	48
ANEXO 5 SOMETIENDO LA CELDA A PRESIÓN	50
ANEXO 6 PLANTA ABONADA CON LIXIVIADO	50
TABLAS Y FIGURAS	
TABLA 1.	16
TABLA 2. PLÁSTICO	16
TABLA 3. METAL	16
TABLA 4. RESIDUOS DE COCINA	16
TABLA 5. RESIDUOS DE JARDÍN	16
TABLA 6. PAPEL Y CARTÓN	16

TABLA 7. INFORMACIÓN DE CANTIDAD DE RESIDUOS MEDIDOS EN KG Y PESADOS DURANTE 30 DÍAS EN LA UTB.	17
TABLA 8. INFORMACIÓN DE PORCENTAJES EN PESO DE RESIDUOS MEDIDOS DURANTE 30 DÍAS EN UTB.	18
TABLA 9. PORCENTAJES TOTALES DE CONTENIDO DE LOS RESIDUOS, CLASIFICADOS POR TIPO DE RESIDUO	19
TABLA 10. CARACTERÍSTICAS GENERALES	20
TABLA 11. PERIODOS CLIMATOLÓGICOS – CARTAGENA BOLÍVAR.	28
TABLA 12. PERIODOS CLIMATOLÓGICOS ANUALES – CARTAGENA BOLÍVAR.	29
TABLA 13. DATOS OBTENIDOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	30
TABLA 14. DATOS OBTENIDOS DE LA EXPERIMENTACIÓN CON LIXIVIADOS	31
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS RESIDUOS DISPUESTOS EN LA CELDA EXPERIMENTAL.	35

GRÁFICOS

GRAFICO 1. COMPOSICIÓN PORCENTUAL EN MASA DE LOS RS. EN COLUMNAS	19.
GRAFICO 2. COMPOSICIÓN PORCENTUAL EN MASA DE LOS RS. EN CIRCULO	19

	Pág.
GRAFICO 3. RESIDUOS GENERADO EN LA UTB	16
PLANOS	
PLANO 1. VISTA SUPERIOR	23
PLANO 2. VISTA FRONTAL	24
PLANO 3. VISTA ISOMÉTRICA	24
PLANO 4. VISTA TRANSVERSAL	25
FOTOS	
FOTO 1. CARTAGENA DE INDIAS, COLOMBIA	13
FOTO 2. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR	14
FOTO 3. CAFETERÍA PELÍCANOS	14
FOTO 4. CELDA	25

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas fenómenos como: desarrollo tecnológico, crecimiento demográfico incontrolado, la creciente tendencia hacia el uso irracional de los recursos naturales y la pérdida de la tendencia de la economía de flujo de servicios la economía consumista de productos superfluos, poco necesarios y totalmente prescindibles, han traído consigo la natural consecuencia de generar y acumular incontroladamente residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Gestionar adecuadamente dichos residuos, con el fin de proteger a los seres humanos y a los ecosistemas naturales, salvaguardándolos de los posibles impactos y riesgos que estos puedan ocasionar se ha convertido en uno de los problemas más difíciles de resolver para la humanidad en los últimos tiempos.

De acuerdo con lo anterior, es nuestro interés particular en esta investigación estudiar las condiciones de operación y de control de los sitios de disposición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), los cuales se conocen como vertedero controlado o Relleno Sanitario. El Relleno Sanitario es el sitio de disposición final de los residuos sólidos más aplicado en el mundo y se convierte en la última etapa de un sistema de almacenaje, recolección, transporte, tratamiento, disposición y confinamiento mecánico de RSU en lugares y características apropiadas, con el fin de evitar el desmejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos y daños en los ecosistemas aledaños.

El crecimiento incontrolado de la cantidad producida de RSU, acompañado de la falta de conciencia ambiental de las personas y el aumento en la diversidad de materiales que intervienen en la composición general de los RSU obligan a una gestión cada vez más exigente desde el punto de vista tecnológico, económico, operativo y de cobertura, que proporcione alternativas de manejo, control y aprovechamiento de los mismos.

La degradación progresiva que sufre la porción biodegradable de los RSU dentro de un vertedero controlado trae consigo una disminución de la masa confinada, la cual se convierte en la fuente de generación de biogás y líquidos lixiviados; el lixiviado es material orgánico e inorgánico sólido que se descompuso y disolvió en un líquido que puede ser aguas de escorrentías, líquidos celulares, etc. es rico en sustancias cancerígenas debido a su alto contenido de metales pesados, aportados por otros residuos que fueron vertidos conjuntamente con los biodegradables. Los riesgos ambientales de más grandes consecuencias en un relleno sanitario, son aquellos cuyos efectos son directos, y tardíos, estos se encuentran íntimamente relacionados con los gases y el lixiviado que se genera en ellos. El lixiviado y la volatilización de algunos compuestos orgánicos en las poblaciones adyacentes a ellos atentan contra la salud humana y representan un alto riesgo ambiental.

La dispersión de una sustancia contaminante a través del suelo se puede considerar realmente lenta en relación a la dispersión en medios aéreos o acuáticos de la superficie, siendo esta una de las posibles causas por las cuales la preocupación por los riesgos de contaminación del suelo no tenga el mismo peso que el de los otros medios bióticos. Sin embargo, es precisamente esta característica de baja velocidad de dispersión la que ocasiona que las consecuencias causadas por estos factores sea más prolongada en el tiempo.

Las características y condiciones dentro de un vertedero controlado no son para nada homogéneas. Podemos encontrar sectores cubiertos mientras que otros están expuestos a la intemperie; el sitio de disposición crece a medida que transcurre el tiempo; los residuos dispuestos varían su edad dentro del vertedero, lo cual generará diferencias en la calidad y cantidad de lixiviados y gases; por lo tanto, se presentan diferentes condiciones para cada celda de confinación de los RSU.

En el presente proyecto de investigación se pretende validar un modelo de balance hídrico al interior del vertedero en un prototipo diseñado a escala, con el fin de establecer condiciones óptimas de operación de un relleno sanitario, que garantice la

prevención de eventuales emergencias ambientales, proporcionando información para plantear las estrategias de manejo y control

Si bien es cierto que los residuos sólidos urbanos dependen en gran medida de variables como tendencias consumistas, poder adquisitivo del grupo social, nivel de educación ambiental, costumbres e idiosincrasia, no se puede negar que analizando los residuos de un sector social bajo algunas condiciones y supuestos adecuados, también se pueden hacer inferencias válidas para otros sectores. El lugar escogido para nuestro estudio está delimitado por las zonas sociales de la Universidad Tecnológica De Bolívar (UTB) sede Ternera, como son: La cafetería Alcatraz y su cocina, El puesto de ventas de la pizzería, Los sitios de ventas de loncherías como son la zona T y el kiosco de la zona posterior, Los kioscos alrededor de la cancha y las zonas intermedias a lo largo de todo el edificio.

Se presenta en primera instancia, una descripción del problema, indicando los aspectos fundamentales (definición, dinámica y posibles efectos), luego se aplican técnicas de muestreo para obtener la caracterización de los residuos sólidos a tratar. Posteriormente se caracterizarán cualitativa y cuantitativamente los líquidos lixiviados obtenidos en la operación del vertedero.

Seguidamente, se muestra el análisis llevado a cabo y por último se plantean algunas recomendaciones a partir de los resultados analizados, con el fin de ofrecer una plataforma de información sobre la cual tomar decisiones en cuanto a las medidas de control y operación del relleno.

1. OBJETIVO GENERAL

Analizar un prototipo a escala de vertedero controlado para caracterizar y establecer cantidades producidas de lixiviado en una celda típica, planteando un método para estimar el volumen de lixiviado generado en rellenos sanitarios reales bajo características específicas de composición de los residuos, climáticas y meteorológicas.

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el sitio fuente de residuos sólidos a disponer y diseñar el plan de trabajo.
- Caracterizar los residuos sólidos generados en el sitio escogido como fuente.
- Diseñar el experimento que permita establecer los parámetros de diseño del relleno sanitario.
- Construir un prototipo a escala de un relleno sanitario.

- Analizar la producción de lixiviados del relleno bajo diferentes condiciones climatológicas.

2. JUSTIFICACIÓN

<<...Una histórica condena acaba de recibir el Distrito por la peor y más grande catástrofe ambiental y sanitaria registrada en la última década en el país: el derrumbe de 800 mil toneladas de basura del relleno sanitario Doña Juana, ocurrido hace 10 años¹...”

...Se considera que algunas de las causales técnicas que generaron la situación anteriormente descrita son la acumulación de la cantidad de lixiviados generados debido a la poca eficiencia de los sistemas de drenaje, esto contribuyó al incremento de las presiones internas de los gases ya que fase líquida (lixiviados) obstruía el flujo normal de dichos gases hacía el exterior del relleno o a las chimeneas de extracción del mismo, esto a su vez reducía la efectividad de los elementos drenantes²...”

Estos son recortes de artículos publicados en los principales diarios de Colombia, y hacen referencia a una tragedia social, económica y ambiental que se presentó en septiembre del año de 1997.

Esto deja como evidencia que es importante encontrar métodos para predecir con cierto nivel de aproximación, las condiciones en las cuales operará un relleno sanitario a través del tiempo, y como afecta su estabilidad y tiempo de vida útil los dos factores más importantes del mismo, como son los lixiviados y los gases. Al momento de diseñar un relleno sanitario es necesario contemplar en los parámetros de diseño, las cantidades de lixiviados y gases que se podrían generar dentro del mismo a causa de las diferentes condiciones ambientales, meteorológicas y de la misma composición de los residuos. A partir de la estimación aproximada de la cantidad y calidad de generación de estos dos subproductos de su operación se pueden establecer sistemas óptimos y eficientes para el control de evacuación de gases y el manejo de lixiviados, como drenajes y chimeneas y de esta forma incrementar notablemente la

¹ GÓMEZ L. El tiempo. Bogotá. Junio, 3, 2007.

² Palacios C. & Giraldo E. Universidad de Los Andes. Bogotá D. C. Colombia

estabilidad de los mismos y en consecuencia la prevención de problemas ambientales de gran impacto, como el ya comentado.

El sistema de recolección de lixiviados y gases es parte fundamental del diseño ingenieril de un sistema de relleno sanitario. Este sistema es parte de los métodos utilizados para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, aguas superficiales y el aire en el área del relleno sanitario, ya que se encarga de recoger los lixiviados para luego disponer de estos en una forma ambientalmente segura.

3. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS A DISPONER EN EL VERTEDERO

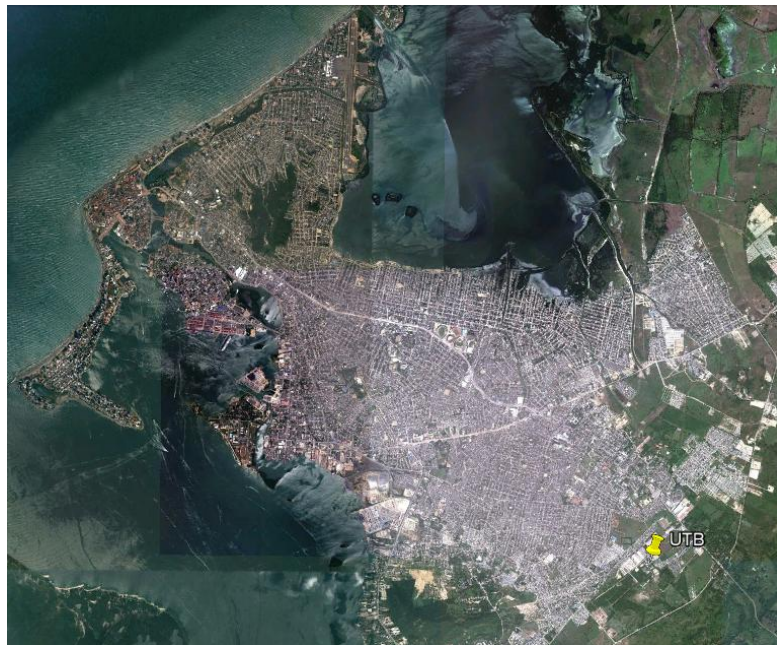


FOTO1: Cartagena de Indias, Colombia



FOTO2: Universidad Tecnológica De Bolívar

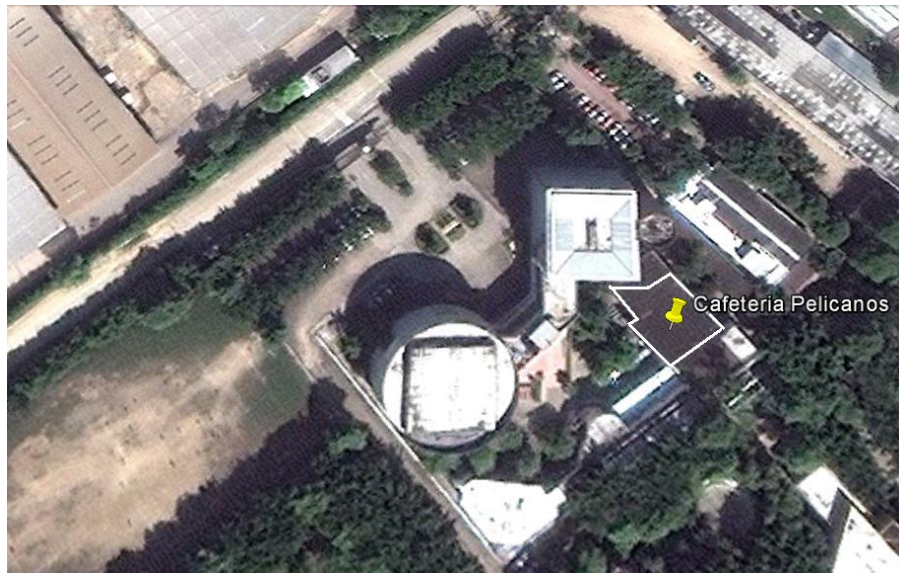


FOTO3: Cafetería Pelicanos

El sitio elegido para llevar a cabo el estudio fue la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR (UTB), en donde se tomo como fuente de generación las áreas sociales de la misma (cafetería Pelícanos), los residuos a tener en cuenta en la disposición final está constituido por todo el material sólido o semisólido que las personas generan y no lo consideran de valor suficiente para continuar en su posesión, por sus características intrínsecas se clasifica más adecuadamente como institucionales, de esta manera se espera encontrar una composición que involucre papel, cartón, latas, plástico, vidrio, materia orgánica (restos de comida, residuos de jardín), residuos especiales (limpiadores, productos químicos) y material de empaque.

El diseño de muestreo implico la recolección y pesaje de los RS generados en las áreas ya descritas durante un tiempo de 30 días, con lo cual se facilita la aplicación de los métodos estadísticos de inferencia sobre los parámetros de interés. La caracterización de los residuos se obtuvo aplicando una metodología mixta entre método de cuarteo y separación y pesaje en fuente, con el fin de determinar la composición porcentual en masa de los diferentes componentes de los residuos a disponer, los datos del análisis y la tabulación de las observaciones se presenta a continuación:

RESIDUOS INORGÁNICOS (Kg)

TABLA 1. Vidrio

Promedio	25,2567
Desviación Estándar	4,15814
Coef. de Variación	16,4635%

TABLA 2. Plástico

Promedio	11,3367
Desviación Estándar	1,73095
Coef. de Variación	15,2686%

TABLA 3. Metal

Promedio	8,1
Desviación Estándar	0,630271
Coef. de Variación	7,78112%

RESIDUOS ORGÁNICOS (Kg)

TABLA 4. Residuos De Cocina

Promedio	32,7233
Desviación Estándar	2,43504
Coef. de Variación	7,4413%

TABLA 5. Residuos De Jardín

Promedio	4,28333
Desviación Estándar	0,830074
Coef. de Variación	19,3792%

TABLA 6. Papel Y Cartón

Promedio	10,26
Desviación Estándar	0,746301
Coef. de Variación	7,27389%

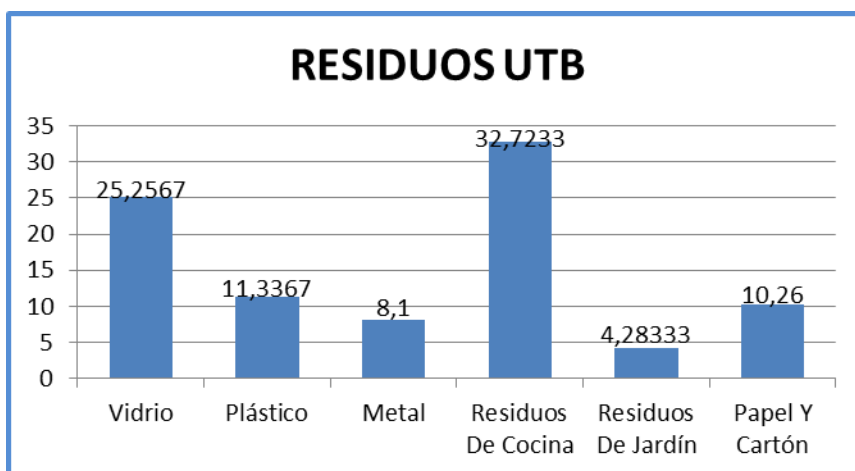


GRAFICO 3. RESIDUOS GENERADOS EN LA UTB

DÍA	INORGÁNICOS			ORGÁNICOS			KG
	Vidrio	Plástico	Metal	R. De Cocina	R. De Jardín	Papel Y Cartón	TOTAL
1	33,5	17,7	7,7	41,6	5,8	10,3	116,6
2	25,7	16,1	7,8	40,6	5,6	9,3	105,1
3	24,1	10,0	7,5	38,9	6,1	11,5	98,1
4	25,7	10,0	7,9	44,6	7,0	11,1	106,3
5	31,6	16,1	8,9	42,2	6,9	9,4	115,1
6	32,6	20,4	7,6	43,7	4,4	10,6	119,3
7	30,8	11,9	8,1	39,4	4,0	11,5	105,7
8	23,2	16,9	7,3	35,9	4,3	11,4	99,0
9	30,5	13,8	8,0	42,3	5,9	10,5	111,0
10	27,7	13,7	7,4	33,3	4,7	10,4	97,2
11	36,4	21,0	8,5	41,3	5,0	11,2	123,4
12	27,7	20,9	7,9	44,0	5,5	9,3	115,3
13	30,0	14,0	8,3	35,2	7,0	9,5	104,0
14	31,2	10,8	8,1	38,3	7,0	10,8	106,2
15	25,1	10,3	7,3	37,9	5,1	10,8	96,5
16	29,9	17,1	8,8	32,1	6,3	9,6	103,8
17	26,0	20,0	8,2	39,6	7,0	10,6	111,4
18	32,5	13,4	8,1	46,8	5,2	9,0	115,0
19	25,8	11,0	7,6	43,3	4,8	10,2	102,7
20	25,5	18,7	9,0	42,2	4,8	9,5	109,7
21	30,9	13,0	7,5	36,3	6,4	9,8	103,9
22	31,8	20,2	8,1	35,1	6,2	9,5	110,9
23	35,5	12,5	7,0	37,8	5,9	11,5	110,2
24	27,1	11,1	7,6	35,9	5,7	10,3	97,7
25	25,3	19,6	7,1	46,8	6,5	9,8	115,1
26	31,1	20,6	8,9	39,5	4,5	11,3	115,9
27	28,4	18,8	7,0	39,4	6,7	10,7	111,0
28	22,2	19,4	8,9	45,2	4,8	9,2	109,7
29	35,8	16,0	8,2	38,7	5,7	10,6	115,0
30	25,2	20,0	8,8	45,9	6,7	10,6	117,2

TABLA 7. Información de cantidad de residuos medidos en Kg y pesados durante 30 días en la UTB

DÍA	INORGÁNICOS			ORGÁNICOS		
	Vidrio	Plástico	Metal	R. De Cocina	R. De Jardín	Papel Y Cartón
1	29,5	13,3	8,1	33,5	4,6	10,9
2	22,6	11,6	9,4	40,8	4,7	10,8
3	25,1	11,1	9,7	38,5	3,4	12,2
4	24,9	14,2	9,2	37,0	4,0	10,7
5	32,5	8,8	8,1	37,3	3,4	9,8
6	24,6	12,6	10,1	34,8	6,5	11,5
7	21,8	14,8	9,0	38,6	3,8	12,0
8	23,1	13,1	9,6	36,7	6,0	11,6
9	30,5	12,5	7,7	34,5	3,6	11,2
10	30,4	10,9	8,8	32,2	6,0	11,7
11	26,8	11,1	7,9	38,1	5,9	10,2
12	30,4	14,7	8,1	31,5	4,6	10,7
13	25,2	14,4	10,0	35,5	4,2	10,8
14	33,0	12,7	8,3	30,3	6,1	9,6
15	27,8	14,2	8,5	33,2	4,4	11,8
16	25,4	14,7	9,4	34,5	4,7	11,4
17	27,5	14,6	9,1	33,2	5,1	10,5
18	23,0	11,4	10,3	38,9	3,6	12,8
19	28,6	12,2	9,8	32,9	4,4	12,2
20	27,3	14,2	7,8	35,3	3,9	11,5
21	23,8	10,6	8,9	40,5	5,1	11,1
22	30,3	10,9	9,2	36,3	3,8	9,4
23	31,0	11,0	8,7	34,8	4,4	10,1
24	27,9	9,4	8,3	36,7	6,0	11,6
25	21,8	12,0	8,5	41,3	4,6	11,7
26	31,1	11,9	7,6	34,6	5,0	9,9
27	25,6	11,4	9,3	35,9	6,0	11,8
28	33,4	10,7	8,4	32,0	3,4	12,1
29	30,6	13,7	9,0	30,9	4,2	11,6
30	24,9	10,8	7,9	39,8	4,6	12,0

TABLA 8. Información de porcentajes en peso de residuos medidos durante 30 días en UTB

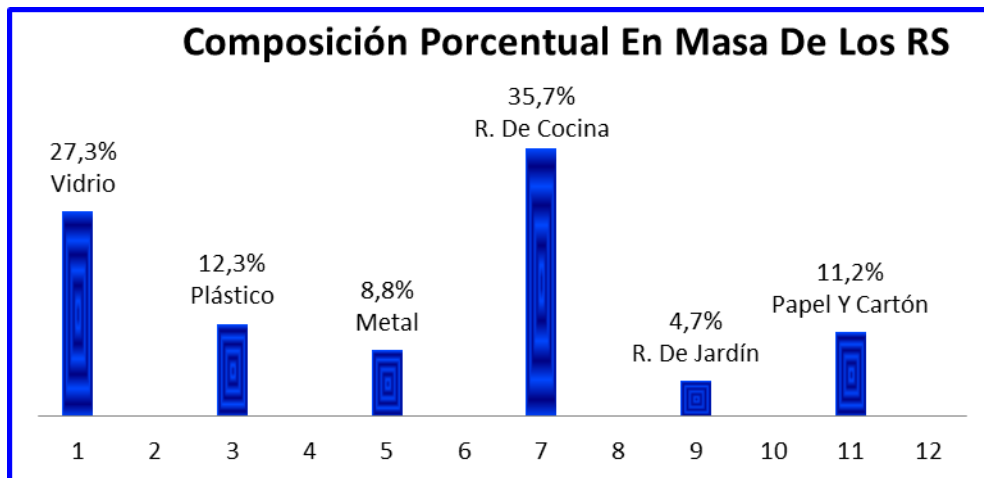


GRAFICO 1. Composición porcentual en masa de los rs. En columnas.

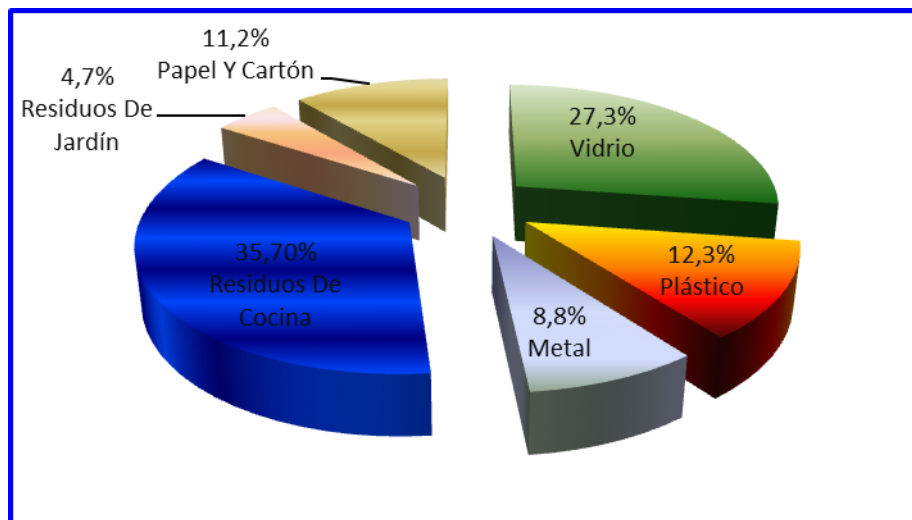


GRAFICO 2. Composición porcentual en masa de los rs. En círculo.

INORGANICOS			ORGANICOS		
Vidrio	Plástico	Metal	R. De Cocina	R. De Jardín	Papel Y Cartón
27,30%	12,30%	8,80%	35,70%	4,70%	11,20%

TABLA 9. Porcentajes totales de contenido de los residuos, clasificados por tipo de residuo.

Características Generales De Los Residuos Dispuestos En La Celda experimental:

CARACTERÍSTICA	VALOR
<i>Densidad específica</i>	0,263 T/m ³
<i>Humedad [Con base en masa húmeda]</i>	29.38 %
<i>Humedad [Con base en masa seca]</i>	41.6 %
<i>Masa húmeda de los residuos</i>	$W_{humr} = 103 \text{ Kg.}$
<i>Humedad</i>	$W_d = 41.6\%$.

TABLA 10. Características Generales

Es importante que se haga claridad en que el tiempo transcurrido mientras se manipulaban los residuos, sumado a las altas temperaturas y la exposición de los mismos al aire libre, influye en el cálculo de las proporciones promedio, presentes en el total de la masa de residuos, pero que este efecto es perfectamente despreciable, en relación con la consecución de los objetivos.

Cabe anotar en este punto que puesto que nuestra investigación gira en torno a la producción lixiviados, hemos seleccionado el material susceptible de aportar en este sentido, por lo tanto solo se tendrá en cuenta los residuos sólidos que hemos clasificado como orgánicos (Residuos de jardín, Residuos de cocina, Papel y Cartón) y se ha desechado todo aquel material inorgánico. En la realidad la operación de este relleno a nivel de la UTB implica que se debe previamente poner en marcha campañas educativas y destinar esfuerzos humanos y económicos para garantizar que los residuos sean 100% separados en fuente y así disponer solo el material orgánico.

4. HIPÓTESIS DE LAS CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN

1. Los residuos confinados corresponden solo a la parte de residuos orgánicos producidos en el lugar de aplicación de la investigación.

2. El material de cubrimiento se considera bajo condiciones de saturación, esto asegura que no hay retención de líquidos en ellos sino que estos se desplazan libremente a través de la capa.

3. Los valores característicos de los residuos se toman según los resultados experimentales.

4. No hay fuentes de agua influyentes en el relleno aparte de la precipitación directa que será simulada.

5. Los volúmenes de agua consumidos por las reacciones químicas internas no son consideradas.

5. DISEÑO DE LA CELDA EXPERIMENTAL

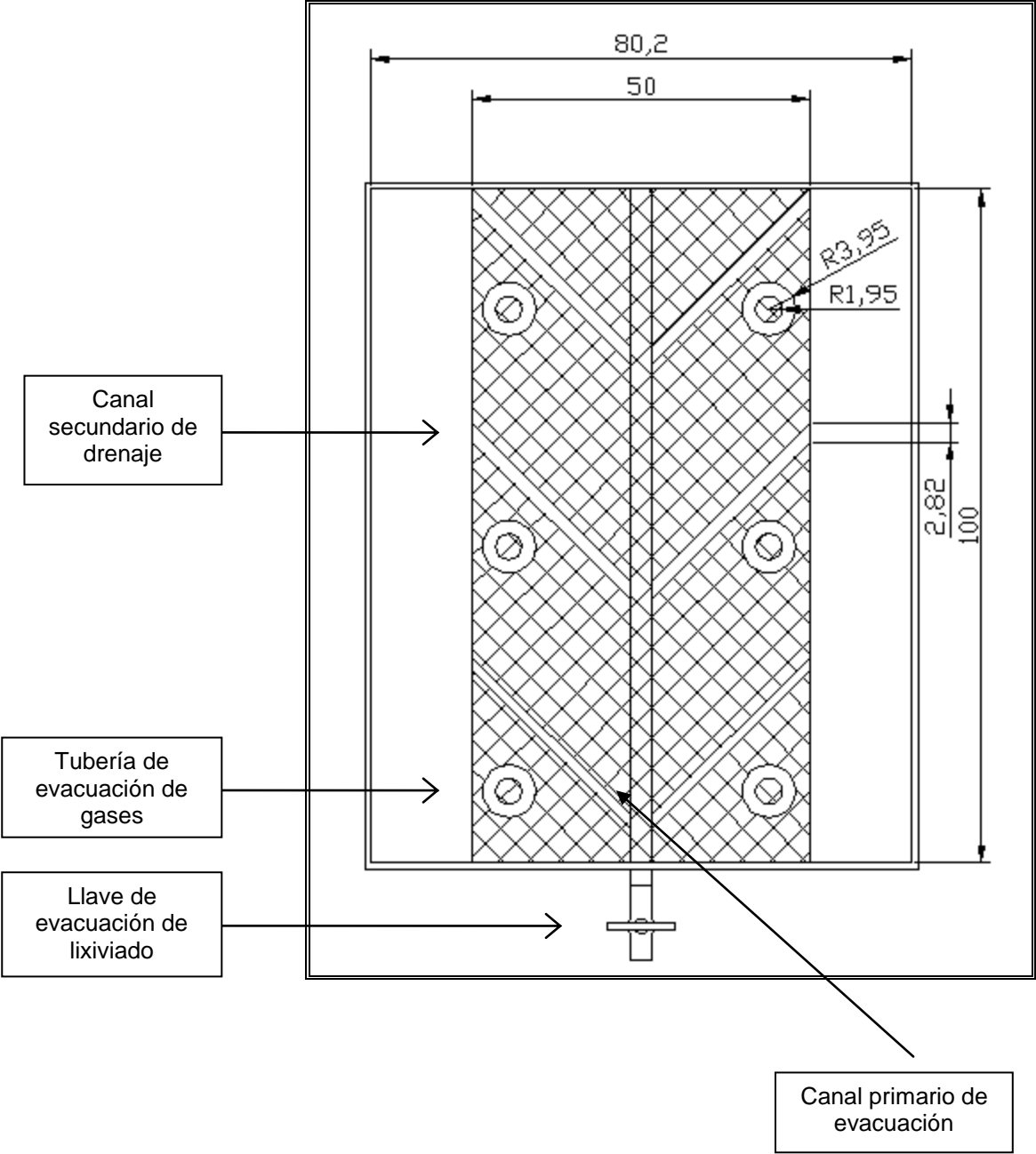
Con el fin de simular una celda típica en un relleno sanitario sujeta a condiciones de campo, se diseñó un contenedor en fibra de vidrio (lo cual garantiza un nivel cero de infiltración) con capacidad para soportar presiones proporcionales y similares a la aplicada en un vertedero a la hora la compactación de los residuos y el material de cubrimiento, el contenedor tiene forma de pirámide truncada y una capacidad de 392.6 L, dimensionada así:

ESPECIFICACIONES	VALOR
<i>Base Menor</i>	<i>Largo=1m; Ancho=0.5m.</i>
<i>Base Mayor</i>	<i>Largo=1m; Ancho=0.822m.</i>
<i>Altura</i>	<i>0.62m.</i>
<i>Ángulo De Inclinación</i>	<i>75°.</i>
<i>Espesor De Las Paredes</i>	<i>0.01m.</i>
<i>Profundidad De Los Canales De Drenaje</i>	<i>0.03m.</i>
<i>Ancho Del Canal Principal De Drenaje</i>	<i>0.03m.</i>

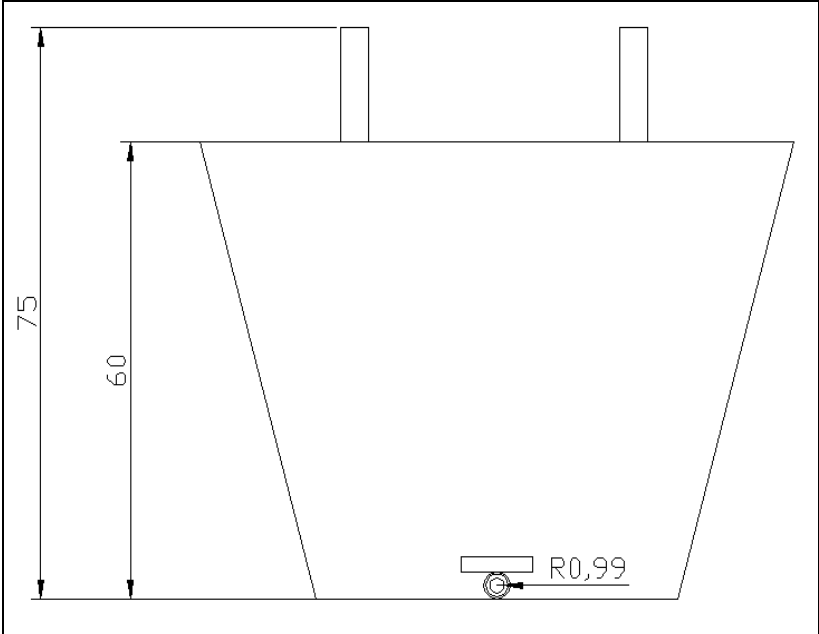
<i>Ancho De Los Canales De Drenaje Secundario</i>	<i>0.02m.</i>
<i>Diámetro De Tubería Para Evacuación De Gases</i>	<i>0.0254m.</i>
<i>Peso Específico (Saturado) Material De Cobertura</i>	<i>$\gamma_{mc} = 1.7T/m^3$.</i>
<i>Peso Del Material De Cobertura Colocado</i>	<i>$W_{mc} = 69.87$ kg.</i>

La celda está provista de un sistema de drenaje compuesto por seis canales secundarios en forma de espina de pescado y un canal principal donde convergen los secundarios, cuya función es recolectar los líquidos lixiviados producidos dentro de la celda y conducirlos hasta el exterior donde son almacenados para ser tratados, estos canales están provistos de un relleno de grava y triturado y están cubiertos con una malla con el fin de evitar que se saturen de residuos y bloqueen el paso del líquido; de la misma forma se ha dotado a la celda de un sistema de evacuación de gases que consiste en seis tuberías de material pvc, verticales que están ubicadas de forma simétrica muy cerca de las esquinas, las cuales están perforadas y cubiertas con malla para permitir el flujo de los gases hacia el exterior e impedir que se bloqueen con el material residual.

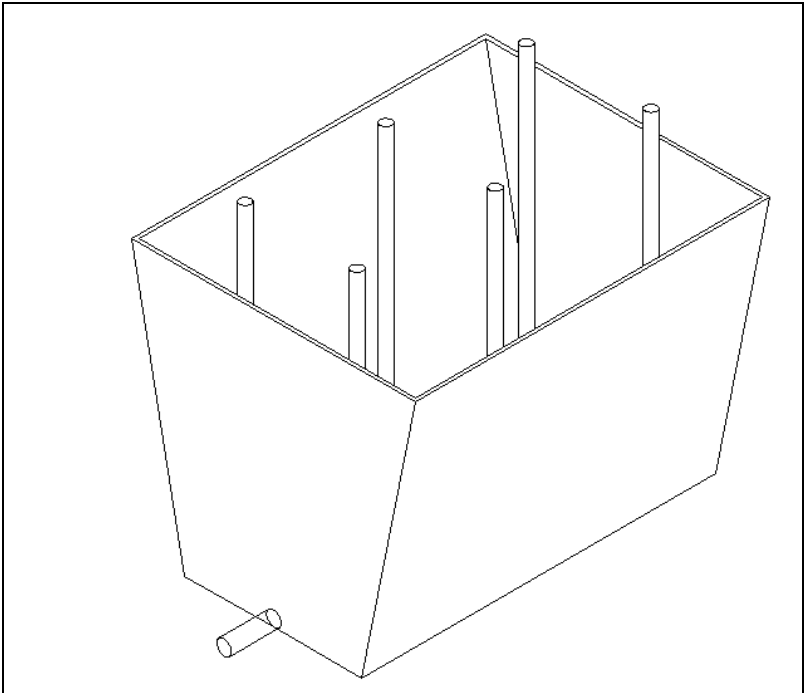
PLANO 1. VISTA SUPERIOR



PLANO 2. VISTA FRONTAL



PLANO 3. VISTA ISOMÉTRICA



PLANO 4. Vista Transversal

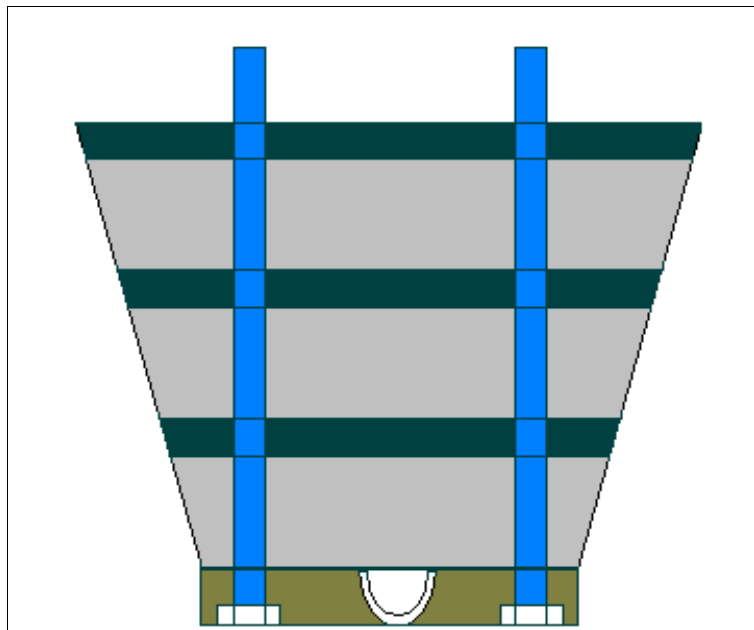


FOTO 4. CELDA



6. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN

6.1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DENTRO DE LA CELDA

Se seleccionó la muestra a partir de los contenedores dispuestos en la UTB para la recolección de los residuos, y se acumularon de forma manual en la celda hasta lograr llenarla totalmente, colocando capas de 0.15m y después de colocar cada capa de residuos, se sometió manualmente todo el material a presiones que simularan la vibrocompactación para densificar el contenido, recubriendo la parte superior con una capa de 0.1m de material de cubrimiento (principalmente arcilla combinada con arena ordinaria), este procedimiento se repitió secuencialmente hasta obtener tres capas de residuos y la capa de recubrimiento. Con este procedimiento se alcanzó una altura total de 0.6m.

En el proceso de llenado de la celda, se pudo observar que inmediatamente como se llevaba a cabo la compactación de las capas se presentaba la emigración de los líquidos al exterior, fenómeno que deja evidencias de que en los residuos confinados en este experimento había un cierto contenido de líquidos libres, lo cual no es sorprendente, puesto que los residuos orgánicos se caracterizan por su alto contenido de humedad.

6.2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS

En la generación de lixiviados y gases intervienen diversas variables como son: escorrentías, evapotranspiración, pluviosidad, drenaje lateral, infiltración a través de las cubiertas, descomposición de los residuos y compuestos químicos presentes en la masa confinada; algunos de estos datos como evapotranspiración y pluviosidad están disponibles por entidades que se encargan del estudio de las condiciones meteorológicas de la zona geográfica en la que se aplica, otros como escorrentías, drenaje lateral, infiltración a través de las cubiertas, descomposición de los residuos y compuestos químicos presentes en la masa confinada, dependen directamente del

tipo de residuo, el material de relleno, el diseño del vertedero y las condiciones de operación del mismo, para nuestro caso particular, dadas las condiciones, tenemos una actividad nula de escorrentías y drenaje lateral, quedando solo los efectos causados por la lluvia directa que fue simulada a partir de datos meteorológicos de fuentes secundarias para aproximar las condiciones reales. La lluvia que se infiltra al vertedero se convierte en el principal factor de la generación de líquidos lixiviados, se espera que esta se desplace a través de las capas de residuos y material de cubrimiento hasta el sistema de recolección de los lixiviados. La lluvia real no afectó el prototipo puesto que estuvo operado bajo cubierta con el fin de poder controlar la cantidad de agua agregada al mismo a través de la lluvia simulada.

El fenómeno de lixiviación es afectado por las aguas de precipitación de la siguiente manera: El agua cae sobre la capa más exterior del vertedero, gran porcentaje de esta agua que cae se escurre, otro porcentaje sufre el proceso de evaporación y el resto se desplaza hacia el fondo por infiltración convirtiéndose en lixiviados, después de haber sido retenida dentro de la masa gracias a la capacidad de absorción del material dispuesto.

Aunque se operó el vertedero bajo cubierta, se garantizaron las condiciones de ventilación y temperatura para que los fenómenos de evaporación del agua agregada mediante la lluvia simulada y las reacciones químicas propias del vertedero se llevaran a cabo sin inconvenientes. Las cantidades de agua evaporada se midieron colocando un recipiente con agua en un sitio muy cercano al vertedero y bajo condiciones similares y se midió el volumen evaporado, y luego se promediaron los datos para obtener un volumen medio de evaporación diaria.

Los datos meteorológicos aportados por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) y el aeropuerto Rafael Núñez en Cartagena De Indias son los siguientes:

- Climatología:** La ciudad de Cartagena de Indias presenta dos periodos climatológicos bien diferenciados por año; un período de lluvias que ocurre durante los meses de Abril a Octubre, y un período seco correspondiente a los meses de Diciembre a Marzo. Esta información sobre las condiciones climatológicas, se obtuvo del CIOH (Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas) y Estación Aeropuerto Rafael Núñez basado en datos recolectados del Aeropuerto Rafael Núñez, por ser la estación con mayor consistencia de datos.

Valores Medios Mensuales – CIOH y Estación Aeropuerto Rafael Núñez				
Mes	Precipitación (mm)	Evapotranspiración (mm)	Temperatura (°C)	Hum. Relativa (%)
Ene	25,4	147,89	26,8	77
feb	22,6	158,64	26,8	78
mar	17,6	169,77	27,1	78
abr	15,7	165,23	27,3	78
may	20,9	160,76	27,5	78
jun	35,7	157,31	27,8	78
jul	55,4	150,38	28,4	79
ago	85,1	146,48	28,1	79
sep	80,5	132,74	27,7	81
oct	65,9	128,34	27,5	82
nov	45,8	125,42	27,3	80
dic	29,5	136,25	27,2	78
Observaciones: Corresponden al período 2004-2008 (5 años) para				
obtener valores medios de los factores climáticos de incidencia				
Fuente: CIOH y Estación Aeropuerto Rafael Núñez				
Nota: El color rojo es el dato de valor máximo, y el azul el valor mínimo				

TABLA 11. Periodos climatológicos mensuales – Cartagena Bolívar.

- **Precipitación:** En general se reconocen durante el año tres períodos con diferente precipitación. Un primer período seco que comprende los meses desde Diciembre hasta Abril con un porcentaje del 7.8% de precipitación anual; un período de transición de seco a lluvioso con precipitaciones intermedias que va desde Mayo hasta Agosto (31.9%) y un tercer período, el más lluvioso que cubre los meses de Septiembre a Noviembre con un porcentaje de precipitaciones de 48.4%.
- **Temperatura:** La variación de la temperatura media mensual durante el año es menor a dos grados centígrados (2°C), oscila entre 26.8°C y 28.4°C; la temperatura promedio anual de la zona de estudio es de 27.7°C. Los meses con temperaturas más bajas en el año son Enero y Febrero, con temperaturas de 26.8°C y el mes más cálido es Junio con temperaturas de 28.4°C en promedio.
- **Humedad Relativa:** La humedad relativa promedio anual es de 80%. Las variaciones están ligadas a las épocas de lluvia, 77% para el mes de Febrero que es el más seco y 82% para el mes de Octubre que es el más lluvioso.
- **Evapotranspiración:** Evapotranspiración media tiene un máximo en el mes de Marzo con 169.77 mm y es mínima en el mes de Noviembre con 125.42 mm. La evapotranspiración media anual es de 1734.32 mm.

Valores Medios Anuales – CIOH y Estación Aeropuerto Rafael Núñez			
Precipitación	Evapotranspiración	Temperatura	Humedad Relativa
(mm)	(mm)	(°C)	(%)
1382,4	1182,2	22,7	70
Observaciones: Corresponden al período 2004-2008 (5 años) para obtener valores medios de los factores climáticos de incidencia			
Fuente: CIOH y Estación Aeropuerto Rafael Núñez			

TABLA 12. Periodos climatológicos anuales – Cartagena Bolívar.

Se considera que: $1\text{mmH}_2\text{O} = 1\text{L H}_2\text{O}/\text{m}^2 = 1\text{Kg H}_2\text{O}/\text{m}^2$

Estos datos indicaron que se tenía que simular un nivel de lluvias de aproximadamente $115.2\text{ mm} = 94.69\text{ Kg}$ (En el área superior de la celda)

7. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

Los datos obtenidos de la experimentación se exponen a continuación:

FECHA dd/mm/aa	Altura Inical (m)	Altura Final (m)	Volumen Inicial	Volumen Vertido (m³)	Volumen Total / Dia
21/12/2009	0,00	0,02	0	0,0114	0,0114
23/12/2009	0,02	0,03	0,0115	0,0067	0,0182
25/12/2009	0,03	0,15	0,0183	0,1327	0,1509
27/12/2009	0,14	0,20	0,1510	0,08175	0,2327
29/12/2009	0,19	0,23	0,2327	0,05626	0,2889
31/12/2009	0,21	0,26	0,2889	0,06159	0,3505
02/01/2010	0,26	0,30	0,3505	0,09035	0,4409
04/01/2010	0,28	0,33	0,4409	0,07388	0,5148
06/01/2010	0,33	0,34	0,5148	0,02578	0,5406
08/01/2010	0,34	0,36	0,5406	0,05330	0,5939
10/01/2010	0,37	0,39	0,5939	0,08427	0,6782
12/01/2010	0,38	0,42	0,6782	0,08942	0,7676
14/01/2010	0,40	0,43	0,7676	0,03094	0,7985
16/01/2010	0,43	0,46	0,7985	0,09625	0,8948
18/01/2010	0,45	0,48	0,8948	0,06700	0,9618
20/01/2010	0,47	0,50	0,9618	0,06927	1,0311
22/01/2010	0,50	0,52	1,0311	0,07152	1,1026
24/01/2010	0,49	0,53	1,1026	0,03660	1,1392
26/01/2010	0,52	0,54	1,1392	0,03717	1,1764

TABLA 13. Datos obtenidos de la experimentación

fecha dd/mm/aa	altura inical (m)	altura final (m)	volumen inicial	volumen vertido (m ³)	volumen total / dia	lixiviado ml
28/01/2010	0,52	0,55	1,176427566	0,037733576	1,214161142	1000
30/01/2010	0,54	0,54	1,214161142	0,037733576	1,176427566	
01/02/2010	0,49	0,50	1,176427566	0,145309689	1,031117877	
03/02/2010	0,48	0,49	1,031117877	0,034918275	0,996199602	
05/02/2010	0,48	0,50	0,996199602	0,034918275	1,031117877	500
07/02/2010	0,50	0,52	1,031117877	0,071528749	1,102646626	
09/02/2010	0,52	0,53	1,102646626	0,036609243	1,13925587	
11/02/2010	0,53	0,54	1,13925587	0,037171697	1,176427566	
13/02/2010	0,54	0,54	1,176427566	0	1,176427566	360
15/02/2010	0,54	0,55	1,176427566	0,037733576	1,214161142	
17/02/2010	0,54	0,54	1,214161142	0,037733576	1,176427566	
19/02/2010	0,53	0,53	1,176427566	0,037171697	1,13925587	
21/02/2010	0,52	0,54	1,13925587	0,037171697	1,176427566	270
23/02/2010	0,53	0,54	1,176427566	0	1,176427566	
25/02/2010	0,52	0,53	1,176427566	0,037171697	1,13925587	
27/02/2010	0,52	0,52	1,13925587	0,036609243	1,102646626	
01/03/2010	0,51	0,51	1,102646626	0,0360462	1,066600427	100

TABLA 14. Datos obtenidos de la experimentación con lixiviados

Cantidad de agua aportada por precipitación simulada:

$P=115.2\text{mm} = 94.69 \text{ Kg}$ A través de la simulación de lluvias.

Escorrentía superficial:

E_s Considerada como nula por las condiciones en que se desarrollo la investigación.

Evaporación real al día:

$E_{vr} = 3,03 \text{ L/m}^2/\text{día}$ fue medida en el campo.

Evaporación total durante el experimento:

$$E_t = E_{vr}(\text{Área mayor en m}^2)(\text{Tiempo en días}) = 74.72 \text{ Kg}$$

Masa seca de los residuos:

$$W_{sr} = W_{humr}(1 - W_d) = 60.15 \text{ Kg.}$$

Masa del agua contenida por humedad:

$$W_w = W_{humr} - W_{sr} = 42.85 \text{ Kg.}$$

Lixiviado generado:

Lix = 25.37L fue medido de forma experimental con el ensayo desarrollado.

Duración del ensayo:

t = 30 días se determinó que fueran 30 para aplicar supuestos de normalidad en las inferencias planteadas.

Podemos ahora hacer los cálculos referentes al balance hídrico observado bajo las condiciones del experimento y los datos meteorológicos con que contamos:

$$P(\text{Simulada}) + W_w(\text{Obs.}) - E_t(\text{Obs.}) - \text{Lix}(\text{Obs.}) - C_c(\text{Obs.}) = 0$$

Capacidad de campo (Cc): Capacidad de campo es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de aproximadamente 48 horas de drenaje debido a fuerzas gravitatorias. La Capacidad de Campo se determina saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje.

$$C_c(\text{Obs.}) = 94.69\text{Kg} + 42.85\text{Kg} - 83.597\text{Kg} - 25.37\text{Kg}$$

$$C_c(\text{Obs.}) = 37.45 \text{ Kg}$$

$$C_c(\text{Obs.})\% = C_c / W_{sr} = 62.26\%.$$

8. BALANCE HÍDRICO TEÓRICO

Se puede estimar la cantidad de lixiviados a producir en una celda de relleno sanitario si se calcula el excedente de agua en ella, es decir la diferencia entre las cantidades de agua que ingresan menos las cantidades que emigran por evapotranspiración y por escorrentías superficial y las cantidades que se retienen debido a la capacidad de campo de los residuos y del material de cubrimiento utilizado.

Para calcular la capacidad de campo se tienen en cuenta las siguientes variables:

Cc: Capacidad de campo en porcentaje de masa.

W: Peso en Kg de sobrecarga calculado a la mitad de la altura del nivel en estudio.

La relación que nos proporciona la capacidad de campo de la celda experimental está dada por:

$$C_c = 0.66 - 0.55 [W/(4536+W)]$$

Para calcular el peso de sobre carga se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

W: Peso en Kg de sobrecarga calculado a la mitad de la altura del nivel en estudio.

W_{sr} : Masa seca de los residuos en Kg.

P: Agua aportada por precipitación en Kg.

W_w : Peso del agua de humedad en Kg.

W_{mc} : Peso del material de cobertura colocado en Kg.

La relación que nos proporciona la Peso de sobrecarga calculado a la mitad de la altura del nivel en estudio de la celda experimental está dada por:

$$W = (1/2)(W_{sr} + P + W_w + W_{mc})$$

La aplicación de un balance hídrico pretende representar los fenómenos de infiltración del agua en un medio poroso.

Para realizar el balance hídrico de la celda se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

A_i : Agua contenida en la celda en Kg.

P : Agua aportada por precipitación en Kg.

A_r : Contenido de agua de los residuos en Kg.

EVT_p : Evapotranspiración potencial en Kg.

E_s : Escurrimiento superficial en Kg.

La relación que nos proporciona la cantidad de agua presente en la celda experimental está dada por:

$$A_i = P + A_r - EVT_p - E_s$$

Para calcular la cantidad en Kg de lixiviados generados en la celda se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

Lix : Cantidad de líquidos lixiviados generados en Kg.

A_i : Agua contenida en la celda en Kg.

Cc : Capacidad de campo en Kg.

La relación que nos proporciona la cantidad de lixiviados generados en la celda experimental está dada por:

$$Lix = A_i - Cc$$

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los datos observados y calculados teóricamente, y se presentan los resultados obtenidos desde ambos enfoques:

Características Generales De Los Residuos Dispuestos En La Celda Experimental		
Densidad específica	D _{esp}	0,263 T/m ³
Humedad [Con base en masa húmeda]		29.38 %
Humedad [Con base en masa seca]	W _d	41.6 %
Masa húmeda de los residuos	W _{humr}	103 Kg.
CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA EXPERIMENTAL		
Base Menor		
Largo		1m.
Ancho		0.5m.
Base Mayor		
Largo		1m.
Ancho		0.822m.
Altura		0.62m.
Ángulo de inclinación		75°.
Espesor de las paredes		0.01m.
Profundidad de los canales de drenaje		0.03m.
Ancho del canal principal de drenaje		0.03m.
Ancho de los canales de drenaje secundario		0.02m.
Diámetro de tubería para evacuación de gases:		0.0254m.
Peso específico (saturado) material de cobertura	Y _{mc}	1.7T/m ³ .
Peso del material de cobertura colocado	W _{mc}	69.87 kg.
Cantidad de agua aportada por precipitación	P	115.2mm = 94.69 Kg
Escorrentía superficial	E _s	0 Kg
Evaporación real	E _{vr}	3,03 L/m ² /día
Evaporación total	E _t	74.71 Kg
Masa seca de los residuos	W _{sr}	60.15 Kg.
Masa del agua contenida por humedad	W _w	42.85 Kg.
Lixiviado generado	Lix	25.37L
Duración del ensayo	t	30 días
Capacidad de campo	Cc	37.45 Kg (Exp)
	Cc %	62.26%. (Exp)
Peso en Kg de sobrecarga	W	
Agua contenida en la celda en Kg.	A _i	
Contenido de agua de los residuos en Kg.	A _r	42.85 Kg
Evapotranspiración potencial en Kg.	EVT _p	

TABLA 15. Características Generales De Los Residuos Dispuestos En La Celda Experimental.

Calculemos ahora los parámetros y medidas planteados:

$$W = (1/2)(W_{sr} + P + W_w + W_{mc})$$

$$W = 133,78 \text{ Kg}$$

$$C_c = 0.66 - 0.55 [W/(4536+W)]$$

$$C_c = 64.4\%$$

$$A_i = P + A_r - EVT_p - E_s$$

$$A_i = 62.83 \text{ Kg}$$

$$Lix = A_i - C_c$$

$$Lix = 24.09 \text{ Kg.}$$

Podemos observar que el error relativo cometido al estimar las cantidades de lixiviados está dado por:

$$\text{Error Relativo} = (25.37-24.09)/24.09 = 5.3\%$$

La cual no es una diferencia significativa, a la hora de proyectar los resultados hacia un relleno sanitario real bajo condiciones similares.

CONCLUSIONES

1. En el diseño e implementación de un vertedero controlado a escala, se debe programar correctamente las observaciones y mediciones a hacer, de tal forma que se basen en las observaciones que normalmente se realizarían en un relleno común, que se tenga en cuenta las variables que se considerarán en el modelo como son: caracterización de los residuos a disponer, meteorología de la zona, manejo de la escorrentía, fuentes de aguas exteriores que pudieran afectar al vertedero, y las variables de resultados como son: caracterización del lixiviado, caracterización del biogás, asentamiento de la masa confinada; y por último tener en cuenta que los resultados obtenidos deben ser comparables con los datos teóricos.
2. Es fundamental obtener un modelo que nos permita estimar en el mediano y largo plazo las cantidades producidas de líquidos lixiviados y biogás en un relleno en operación y postoperación, esto nos permite un óptimo diseño, construcción y sobre todo nos ofrece información vital a ser utilizada en los planes de prevención, mitigación y recuperación en los posibles riesgos ambientales que un vertedero supone a los acuíferos, subsuelo y ecosistemas en general adyacentes a él.
3. Se deben tener en cuenta los modelos matemáticos y los balances de masa, correspondientes, además en lo posible utilizar una herramienta computacional como un software especializado.
4. Las mediciones obtenidas bajo la operación del relleno en distintas condiciones, se equiparan con los resultados teóricos referidos a las relaciones usuales, presentando diferencias poco significativas del modelo, en este caso la diferencia en la producción de lixiviados está en el orden del 5%.

5. Para la validación del modelo y su aplicación confiable se deben considerar aplicaciones en distintas condiciones meteorológicas; esto nos permitirá obtener resultados validados que sirvan de referencia a posteriores aplicaciones.

6. Por la precaria tecnología usada, la captación del gas no fue la más exitosa, ya que los diversos contenedores (bombas de hule, bolsas plásticas, condones) que se colocaban al final de la tubería, eran reventados, por los gusanos que vivían dentro de la celda.

7. El lixiviado extraído fue utilizado como abono para algunas especies domésticas de jardín y este ayudo a su crecimiento, mostrando que aunque era un lixiviado joven, era rico en nutrientes (VER ANEXO 6).

8. La experimentación mostró que el material orgánico podría mezclarse en las baterías de compostación enriqueciendo más la mezcla, por lo tanto podría utilizarse como un abono eficiente para cultivos orgánicos.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.

A STUDY OF LANDFILL GAS COMPOSITION C.G.Dent - P . Scott - G. Baldwin
Harwell Laboratory - Oxfordshire - England / Marzo 1985

BACKGROUND PAPER LANDFILL GAS Hans Willunsen - Simposium Dinamarca /
Oct. Nov 1987

BIOGAS Cálculo de producción de Bio-Gas en Rellenos Sanitarios Francisco Galvez
Von Collas - Victor Casas Cordero Montevideo - Uruguay / Julio 1987

Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B. (2005) Landfill Leachate Management In Istanbul:
Applications And Alternatives. *Chemosphere*, 59(6): 819-829

Environmental Research Foundation. 1998. The Basics Of Landfills. Fuente De Internet:
[Http://Www.Zerowasteamerica.Org/Basicsoflandfills.Htm](http://www.zerowasteamerica.org/basicsoflandfills.htm)

Carrillo-Amezcuca., J.C., Leal L.L., Cendejas R., Buenrostro, D Y Sánchez –Yáñez J.M
2005. El Reciclaje De Los Residuos Sólidos Plásticos Como Alternativa Para Mejorar
La Calidad Ambiental En El Municipio De Morelia, Michoacán, México. Fuente De
Internet: [Http://Www. Monografías.Com](http://www.monografias.com).

Luscomber Y E. Costner 2001. Zero Toxics, Sources Of By-Product POP's And Their
Elimination. Fuente De Internet:
[Www.Grenpeace.Org/~Toxics/Reports/Dioxinsources.Pdf](http://www.grenpeace.org/~toxics/reports/dioxinsources.pdf)

Espinace, R. H.; Palma G, R.; Szanto N., M. (1999); "La Geotecnia Ambiental Aplicada
A Los Vertederos Sanitarios". Acceso Online En:
[Http://lcc.Ucv.Cl/Geotecnia/05_Publicaciones/Publicaciones_Propias/Cantabria.Doc](http://lcc.ucv.cl/geotecnia/05_publicaciones/publicaciones_propias/cantabria.doc)

Eugenio Giraldo. Artículo. Tratamiento De Lixiviados De Rellenos Sanitarios.

EXPERIENCIA PERSONAL Javier Sara-Lafosse Rios. Rellenos Sanitarios - Ubicación - Preparación - Captación de Bio Gas Procesamiento de RR.SS (Perú - Chile - Bolivia). 1984 - 1996.

Farquhar, G.J., 1989. Leachate: production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 16, pp. 317 – 325

FUEL GAS EXCHANGERTY BY CONTROLLED LANDFILL M.G. Beivid - D.L. Wiss
Municipal Solid Waste / Marzo 1985

Héctor Collazos Peñaloza. Diseño Y Operación De Rellenos Sanitarios. Rústica, 3era Edición. Bogotá, Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, 2008.

Henry, J. G.; Heinke, Gary. W. "Ingeniería Ambiental"; segunda edición.
Editorial Pearson. 1996.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., And Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles And Management Issues. Mcgraw-Hill, Boston, Mass. USA.

Tchobanoglous George. Gestión Integral De Residuos Sólidos. México : Mcgraw-Hill. 1994. I. MX.

TESTING LARGE LANDFILL SITES Joan P. Siegal G.S.F. Energy Inc. - Signal Hill - U.S.A. / 1989

Schroeder, P., Dozier, T., Zappi, P., McEnroe, B., Sjostrom, J., and Peyton, L., 1994. *Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Engineering Documentation for Version 3*. EPA/600/R-94/168b, september 1994, U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Washington, D.C.

Vilar, Orencio M., Y Carvalho, Miriam De F.; (2004): "Mechanical Properties Of Municipal Solid Waste". Journal Of Testing And Evaluation. Nov. 2004, Vol 32 N° 6. Acceso Online En: [Http://Journalsip.Astm.Org/Journals/Testeval/Toc/32622004.Htm](http://Journalsip.Astm.Org/Journals/Testeval/Toc/32622004.Htm)

PAGINAS DE INTERNET

[Http://Www.Miliarium.Com/Proyectos/Vertederos/RSU/Software/Modsimulvrsu.Htm](http://Www.Miliarium.Com/Proyectos/Vertederos/RSU/Software/Modsimulvrsu.Htm)

[Http://Www.Geowiss.Uni-Hamburg.De/I-Boden/Fsimhelp_E.Htm](http://Www.Geowiss.Uni-Hamburg.De/I-Boden/Fsimhelp_E.Htm)

[Http://Www.Afcee.Af.Mil/Resources/Technologytransfer/Programsandinitiatives/Landfill covers/References/Index.Asp](http://Www.Afcee.Af.Mil/Resources/Technologytransfer/Programsandinitiatives/Landfillcovers/References/Index.Asp)

[Http://Www.Cioh.Org.Co/Index.Php?Option=Com_Content&Task=View&Id=61&Itemid=185](http://Www.Cioh.Org.Co/Index.Php?Option=Com_Content&Task=View&Id=61&Itemid=185)

[Http://Www.Binasss.Sa.Cr/Poblacion/Rellenosanitario.Htm](http://Www.Binasss.Sa.Cr/Poblacion/Rellenosanitario.Htm)

[Http://Es.Wikipedia.Org/Wiki/Modelo_HELP](http://Es.Wikipedia.Org/Wiki/Modelo_HELP)

[Http://Icc.Ucv.Cl/Geotecnia/05_Publicaciones/Public_Prop/Analisis_De_La_Estabilidad_De_Rs.Pdf](http://Icc.Ucv.Cl/Geotecnia/05_Publicaciones/Public_Prop/Analisis_De_La_Estabilidad_De_Rs.Pdf)

[Http://Www.Cepis.Ops-Oms.Org/Curso_Rsm/E/Unidad3.Html](http://Www.Cepis.Ops-Oms.Org/Curso_Rsm/E/Unidad3.Html)

[Http://Www.Losmejoresdestinos.Com/Destinos/Cartagena/Cartagena_Clima.Htm](http://Www.Losmejoresdestinos.Com/Destinos/Cartagena/Cartagena_Clima.Htm)

[Http://Www.Ambiente.Gov.Ec/Userfiles/222/File/SANTO%20OMINGO/A6_Manual%20de%20Explotacion_SD.Pdf](http://Www.Ambiente.Gov.Ec/Userfiles/222/File/SANTO%20OMINGO/A6_Manual%20de%20Explotacion_SD.Pdf)

[Http://Www.Ingenieroambiental.Com/?Pagina=793](http://Www.Ingenieroambiental.Com/?Pagina=793)

Vega Chávez Luis F. 2002. Evaluaciones De Las Operaciones Y Mantenimiento Del Relleno Sanitariode Mallasa.

[Http://Pisa.Univalle.Edu.Co/Public/Index.Php?Seccion=GRUPOS&Grupo=9&Ver=LIN EAS](http://Pisa.Univalle.Edu.Co/Public/Index.Php?Seccion=GRUPOS&Grupo=9&Ver=LIN EAS)

[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Manejo-Desechos-Solidos/Manejo-Desechos-Solidos.Shtml?Monosearch](http://Www.Monografias.Com/Trabajos19/Manejo-Desechos-Solidos/Manejo-Desechos-Solidos.Shtml?Monosearch)

ANEXOS

ANEXO 1 CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA







ANEXO 2 CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS



ANEXO 3 CAPTACIÓN DE GASES CON BOMBAS DE ULE



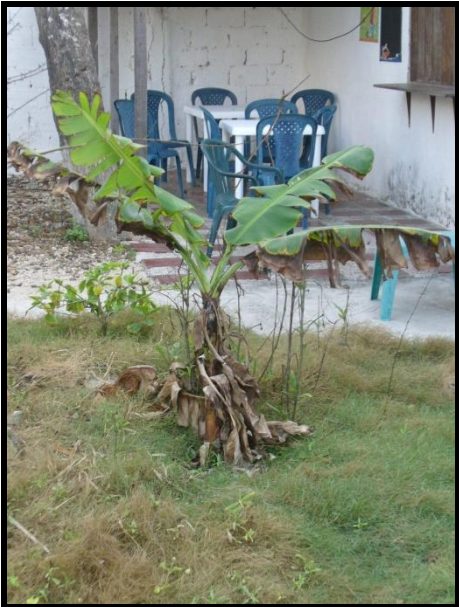
ANEXO 4 CAPTACIÓN DE GASES CON BOLSAS



ANEXO 5 SOMETIENDO LA CELDA A PRESIÓN



ANEXO 6 PLANTA ABONADA CON LIXIVIADO



ANÁLISIS DE UN VERTEDERO CONTROLADO A ESCALA Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE GENERACIÓN DE LIXIVIADOS

Por: J. M. MARTÍNEZ, J. F. MARTINEZ*

***Universidad Tecnológica de Bolívar – Ingeniería ambiental Colombia**

(Email: jmdartagnan@hotmail.com, jungla82@hotmail.com)

En todo relleno sanitario se presentan fenómenos de degradación de la materia orgánica confinada, los cuales se deben a reacciones químicas que reducen notablemente la masa de residuos y transforman el material en líquidos lixiviados y gases de vertedero (Biogás). Estos dos factores se convierten en elementos críticos a la hora de evaluar la operación del relleno, sus expectativas de durabilidad y los posibles riesgos ambientales y sociales que pudiera traer consigo.

En la presente investigación se diseñó un relleno sanitario a escala a partir de la caracterización de los residuos sólidos de la Universidad Tecnológica De Bolívar (UTB). El prototipo consiste de un contenedor en forma de pirámide truncada elaborado en fibra de vidrio con capacidad de 392.6L y el

cual fue dotado de un sistema de drenaje para los lixiviados y otro de extracción para los gases producidos.

El contenedor fue abastecido totalmente con residuos orgánicos producidos en las áreas sociales de la UTB y luego confinados y compactados bajo condiciones similares a las de un relleno real. Durante la investigación se simularon algunas características meteorológicas y se midieron las variables de respuesta propuestas, como son la producción de lixiviados y gases; luego de esto se aplicó un análisis teórico para contrastar los resultados experimentales, obteniendo un buen nivel de aproximación. Finalmente se aplicó un análisis de simulación en el cual se utilizó un software comercial para poder determinar los valores

esperados en el largo plazo de la cantidad de lixiviados y gases.

Palabras Claves: Gas de Vertedero, Lixiviados, Modelación, Relleno Sanitario, Residuos Sólidos.

La generación de desechos sólidos es parte insoluble de las actividades que realiza una organización. Considerando que dentro de las etapas del ciclo de vida de los desechos sólidos (generación, transportación, almacenamiento, recolección, tratamiento y disposición final), las empresas constituyen el escenario fundamental, en el que se desarrollan y se vinculan las diferentes actividades asociadas al manejo de los mismos. Resulta esencial el tratamiento acertado de los temas y su consideración de forma priorizada en el contexto de las actividades de Gestión Ambiental, a través de los cuales se potencie el establecimiento de esquemas de manejo seguro que garanticen un mayor nivel de protección ambiental, como parte de las metas y objetivos de los diferentes sectores productivos y de servicios, en función del Perfeccionamiento Empresarial.

Se entiende por gestión de los residuales a las acciones que deberá seguir las organizaciones dentro de la gestión ambiental, con la finalidad de prevenir y/o minimizar los impactos ambientales que se pueden ocasionar los desechos sólidos en particular y por plan de manejo se entiende el conjunto de operaciones encaminadas a darles el destino más adecuado desde el punto de vista medioambiental de acuerdo con sus características, que incluye entre otras las operaciones de generación, recogida, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición final. (Ciclo de vida de los residuales).

Aunque en los últimos años, la labor de gestión ambiental empresarial en materia desechos sólidos se ha venido desarrollando de forma separada, no hay dudas que como parte de su tratamiento, subsisten numerosos puntos de contacto que determinan la posibilidad de brindar un tratamiento integral a una gran mayoría de las áreas de acción que conforman esta esfera de trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

- Determinar el sitio fuente de residuos sólidos a disponer y diseñar el plan de trabajo.
- Sustentar teóricamente el diseño y funcionamiento de un relleno sanitario
- Diseñar el experimento que permita establecer los parámetros de diseño del relleno sanitario.
- Caracterizar los residuos sólidos generados en el sitio escogido como fuente
- Diseñar un prototipo a escala de un relleno sanitario.
- Construir un prototipo a escala de un relleno sanitario.
- Analizar y evaluar el funcionamiento del relleno bajo diferentes condiciones climatológicas.
- Establecer e implementar las condiciones de funcionamiento óptimo del relleno.

CONCLUSIONES

1. En el diseño e implementación de un vertedero controlado a escala, se debe programar correctamente las observaciones y mediciones a hacer, de tal forma que no se base en las observaciones que normalmente se realizarían en un relleno común, sino

que además se tenga en cuenta las variables que se considerarán en el modelo como son: caracterización de los residuos a disponer, meteorología de la zona, manejo de la escorrentía, fuentes de aguas exteriores que pudieran afectar al vertedero, y las variables de resultados como son: caracterización del lixiviado, caracterización del biogás, asentamiento de la masa confinada; y por último tener en cuenta que los resultados obtenidos deben ser comparables con los datos teóricos.

2. Es fundamental obtener un modelo que nos permita estimar en el mediano y largo plazo las cantidades producidas de líquidos lixiviados y biogás en un relleno en operación y postoperación, esto nos permite un óptimo diseño, construcción y sobre todo nos ofrece información vital a ser utilizada en los planes de prevención, mitigación y recuperación en los posibles riesgos ambientales que un vertedero supone a los acuíferos, subsuelo y ecosistemas en general adyacentes a el.

3. Se deben tener en cuenta los modelos matemáticos y los balances de masa, correspondientes, además en lo posible utilizar una herramienta computacional como un software especializado.

4. El biogás generado se puede dejar escapar a la atmósfera, se puede quemar en antorchas o utilizar para generar energía local se presenta como una oportunidad de contribución adicional al desarrollo sustentable.

5. Las mediciones obtenidas bajo la operación del relleno en distintas condiciones, se equiparan con los resultados a teóricos referidos a las relaciones usuales, presentando diferencias poco significativas del modelo, en este caso la diferencia en la producción de lixiviados está en el orden del 5%.

6. Para la validación del modelo y su aplicación confiable se deben considerar aplicaciones en distintas condiciones meteorológicas; esto nos permitirá obtener resultados validados

que sirvan de referencia a posteriores aplicaciones.

7. Para una óptima operación y explotación del vertedero se debe controlar las emisiones de gas difusas y controladas.

8. Por la precaria tecnología usada, la captación del gas no fue la más exitosa, ya que los diversos contenedores (bombas de hule, bolsas plásticas, condones) que se colocaban al final de la tubería, eran reventados, por los gusanos que vivían dentro de la celda.

9. El lixiviado extraído fue utilizado como abono para unas matas del jardín y este ayudo a su crecimiento, mostrando que aunque era un lixiviado joven, era rico en nutrientes.

REFERENCIAS

- A STUDY OF LANDFILL GAS COMPOSITION C.G.Dent - P . Scott - G. Baldwin Harwell Laboratory - Oxfordshire - England / Marzo 1985

- BACKGROUND PAPER
LANDFILL GAS Hans Willunsen -
Symposium Dinamarca / Oct. Nov 1987
- BIOGAS Cálculo de producción
de Bio-Gas en Rellenos Sanitarios
Francisco Galvez Von Collas - Victor
Casas Cordero Montevideo - Uruguay /
Julio 1987
- Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B.
(2005) Landfill Leachate Management
In Istanbul: Applications And
Alternatives. Chemosphere, 59(6):
819-829
- Environmental Research
Foundation. 1998. The Basics Of
Landfills. Fuente De Internet:

[Http://Www.Zerowasteamerica.Org/Ba
sicsoflandfills.Htm](http://www.zerowasteamerica.org/Basicsoflandfills.htm)

- [Http://Www.Miliarium.Com/Proy
ectos/Vertederos/RSU/Software/Modsi
mulvrsu.Htm](http://www.miliarium.com/Proyectos/Vertederos/RSU/Software/Modsimulvrsu.htm)

- [Http://Www.Geowiss.Uni-
Hamburg.De/l-Boden/Fsimhelp_E.Htm](http://www.geowiss.uni-hamburg.de/l-boden/fsimhelp_e.htm)

- [Http://Www.Afcee.Af.Mil/Resour
ces/Technologytransfer/Programsandi
nitiatives/Landfillcovers/References/Ind
ex.Asp](http://www.afcee.af.mil/Resources/Technologytransfer/Programsandinitiatives/Landfillcovers/References/Index.asp)

- [Http://Www.Cioh.Org.Co/Index.
Php?Option=Com_Content&Task=Vie
w&Id=61&Itemid=185](http://www.cioh.org.co/index.php?option=com_content&task=view&id=61&Itemid=185)

[Http://Www.Binasss.Sa.Cr/Poblacion/Re
llosanitario.Htm](http://www.binasss.sa.cr/Poblacion/Relenosanitario.htm)