

**ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Escuela de Ingeniería Química**

**MONOGRAFÍA**  
**DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CPF DE**  
**CUPIAGUA EN SU ETAPA DE POSTCLAUSURA**

**AUTORES:**  
**LUZ ANGELA CARRILLO GARCIA**  
**DANIEL FERNANDO FLOREZ FONSECA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**JUNIO 2004**

**ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Escuela de Ingeniería Química**

**MONOGRAFÍA**  
**DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CPF DE**  
**CUPIAGUA EN SU ETAPA DE POSTCLAUSURA**

**AUTORES:**  
**LUZ ANGELA CARRILLO GARCIA**  
**DANIEL FERNANDO FLOREZ FONSECA**

**DIRECTOR**  
**Ing. WILSON CASAS CASTRO**  
**Docente Especialización Ingeniería Ambiental**

**CODIRECTOR**  
**Ing. CARLOS VARGAS**  
**Supervisor Ambiental de Campo**  
**Coordinador Técnico para este Proyecto por BP**

**EVALUADORES**  
**Ing. ALIRIO REY**  
**Corporación Autónoma de Santander - CAS**

**Dra. MAGDA CORREAL**  
**MINAMBIENTE**

**Dr. CARLOS FERNANDO GUERRA**  
**Coordinador Especialización Ingeniería ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**BOGOTÁ D.C.**  
**JUNIO 2004**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos toda la colaboración, la información y el apoyo suministrados por la empresa BP EXPLORATION COMPANY COLOMBIA LTD., por abrirnos las puertas, confiar en nuestro trabajo, en especial a los ingenieros Marco Vinicio Cárdenas, y Carlos Vargas, Ricardo Sandoval, Karim Perdomo, Edgar Pérez.

Agradecemos a nuestro director de Tesis, el ingeniero Wilson Casas, por sus valiosos aportes de conocimiento, profesionalismo, su apoyo incondicional y su guía.

Agradecemos la colaboración e información suministradas por las empresas SERINGCA y DUVAL, en particular a los ingenieros Daniel David Rodríguez y Mauricio Valderrama.

Agradecemos a nuestras familias, por su apoyo, comprensión y paciencia y por el tiempo que dejamos de compartir con ellos.

A ellos dedicamos con todo nuestro amor, este trabajo.

*Luz Angela y Daniel*

## CONTENIDO

	pág.
<b>1. MARCO LEGAL .....</b>	<b>10</b>
1.1 Normas ambientales relacionadas con operación clausura y Postclausura de rellenos sanitarios .....	10
1.1.1 Normas Comunidad Económica Europea CEE .....	10
1.1.2 Normas de EPA Agency Protection Enviromental (Agencia de Protección Ambiental EEUU) .....	14
1.2 Clasificación de rellenos sanitarios .....	17
1.2.1 Clasificación de rellenos según Comunidad Económica Europea CEE .....	17
1.2.2 Clasificación de rellenos-Sistema de California .....	18
1.3 Norma tecnica de aseo en colombia. RAS 2000.....	18
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
2.1 Objetivo General.....	22
2.1.1 Objetivos Específicos .....	22
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
3.1 Fase 1 .....	23
3.1.1 Análisis de información secundaria.....	23
3.1.2 Estructuración de información primaria.....	24
3.2 Fase 2: trabajo de campo .....	24
3.2.1 Visita preliminar .....	25
3.2.2 Visita de campo.....	25
<b>4. MARCO TEORICO .....</b>	<b>27</b>
4.1 Definiciones, usos, ventajas, desventajas.....	27
4.1.1 Definiciones .....	27
4.1.2 Usos .....	29
4.1.3 Ventajas del relleno sanitario .....	29
4.1.4 Desventajas.....	30
4.2 Interacciones de un relleno sanitario con el medio ambiente .....	31
4.3 Estabilización de un relleno sanitario .....	35
4.4 Calidad y producción de gases .....	38
4.5 Clausura y Post Clausura de Rellenos Sanitarios.....	40
4.5.1 Definiciones .....	40
4.5.2 Acciones .....	40
<b>5. DESCRIPCION DEL PROYECTO .....</b>	<b>45</b>

5.1	Antecedentes .....	45
5.1.1	Antecedentes del relleno .....	45
5.1.2	Carga de disposición en t/a durante toda la vida útil del proyecto .....	49
5.1.3	Estimación de la producción de biogás, relleno sanitario de Cupiagua .....	49
5.2	Localización .....	56
5.3	Características ambientales .....	57
5.3.1	Características geológicas y geomorfológicas.....	57
5.3.2	Hidrogeología: Potencial acuífero del subsuelo.....	61
5.3.3	Características climáticas.....	61
5.4	Características de los residuos sólidos de los pozos de Cupiagua .....	63
5.4.1	Residuos sólidos generados .....	63
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN .....</b>	<b>65</b>
6.1	ANÁLISIS DEL NIVEL DE ESTABILIZACIÓN DEL RELLENO .....	65
6.1.1	Introducción .....	65
6.1.2	Producción de biogás.....	66
6.1.3	Calidad de lixiviados, Aguas superficiales y aguas subterráneas .....	66
6.1.4	Conclusión del nivel de estabilización.....	66
6.2	EVALUACION TECNICA.....	68
6.2.1	Relleno sanitario de Cupiagua .....	68
6.2.2	Area de administración.....	76
6.2.3	Bodegas de reciclaje .....	76
6.2.4	Área de Incineración .....	77
6.2.5	Aspectos generales.....	77
6.2.6	Evaluación de áreas protectoras ambientales (barreras vivas).....	77
6.2.7	Piezómetros .....	78
6.2.8	Mantenimiento.....	78
6.2.9	Energía eléctrica .....	78
6.2.10	Evaluación de impactos por posible afectación del relleno sanitario de Aguazul hacia las FMRS-CUP .....	78
6.3	Evaluación de Cumplimiento AMBIENTAL .....	79
6.3.1	Evaluación de cumplimiento respecto a la autorización ambiental .....	79
6.3.2	Evaluación de cumplimiento respecto al Plan de Clausura y Post-clausura .....	89
6.4	Evaluación de impacto ambiental.....	91
6.4.1	Metodología.....	91
6.4.2	Definición de términos utilizados dentro de la evaluación .....	91
6.4.3	Criterios para la Valoración .....	92
6.4.4	Sistema de Calificación .....	97
6.4.5	Resultados .....	99
7.1	ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL: QUEBRADAS ARENOSA Y OBSEQUIA.....	108
7.2	ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS CUERPOS DE AGUA SUBTERRANEA.....	108
7.3	ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO .....	109

<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>110</b>
<b>9.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>111</b>
9.1	Uso final según Guía Ambiental para rellenos sanitarios MMA .....	113
9.2	Recomendaciones sobre uso futuro.....	114
<b>10.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>116</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1-1.	Parámetros de cierre y mantenimiento posterior según CEE ..... 11
Tabla 1-2.	Procedimientos de control y vigilancia según CEE ..... 12
Tabla 1-3.	Requisitos para cobertura final ..... 14
Tabla 1-4.	Alternativa para el diseño de cobertura final ..... 15
Tabla 1-5.	Regulación plan clausura..... 16
Tabla 1-6.	Requisitos de solicitud de post-clausura-relación de regulaciones ..... 16
Tabla 1-7.	Plan de post-clausura 40cfr 258.61(C)–(e) resumen de regulaciones ..... 17
Tabla 1-8.	Clasificación de rellenos según sistema de California..... 18
Tabla 4-1.	Ventajas del relleno sanitario ..... 29
Tabla 4-2.	Desventajas de un relleno sanitario..... 30
Tabla 4-3.	Principales efectos ambientales asociados a los residuos sólidos ..... 32
Tabla 4-4.	Impactos ambientales asociados a rellenos sanitarios..... 33
Tabla 4-5.	Composición de lixiviado en cada fase de estabilización del relleno sanitario ..... 37
Tabla 4-6.	Características típicas del biogas generado en un relleno sanitario ..... 38
Tabla 4-7.	Fases de estabilización de residuos ..... 39
Tabla 4-8.	Acciones clausura de rellenos sanitarios..... 44
Tabla 5-1.	Especificaciones técnicas de las FMRS-CUIPAGUA ..... 48
Tabla 5-2.	Composición física de los residuos sólidos de BP en el Casanare..... 53
Tabla 5-3.	Valores medios mensuales de precipitación ..... 62
Tabla 5-4.	Valores medios mensuales multianuales de temperatura..... 63
Tabla 5-5.	Índice producción de residuos sólidos convencionales pozos Cuiagua II y III ..... 64
Tabla 6-1.	Evaluación de impactos por posible afectación del relleno sanitario de Aguazul hacia las FMRS-CUP..... 79
Tabla 6-2.	Lista de chequeo de evaluación de campo ..... 80
Tabla 6-3.	Evaluación de cumplimiento respecto a la autorización ambiental ..... 86
Tabla 6-4.	Evaluación ambiental con respecto al plan de clausura y post-clausura ..... 89
Tabla 6-5.	Parámetros de evaluación de los impactos ..... 98
Tabla 9-1	Recomendaciones específicas de las FMRS-CUP y relleno sanitario de Aguazul.. 111

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1.1. Alternativa para cobertura final EPA.....	15
Figura 1.2. Capa de drenaje.....	20
Figura 3.1. Puntos de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas .....	26
Figura 4.1. Características de gases y lixiviados con las fases de estabilización de los residuos sólidos .....	36
Figura 5.1 Sistema de manejo de los residuos sólidos en el Campo Cupiagua.....	47
Figura 5.2 Descripción de las FMRS-CUPIAGUA diseñadas por Hidromecánicas Ltda - 1995. ....	50
Figura 5.3 Metodología para estimar la producción de biogás .....	52
Figura 5.4 Localización general de las FMRS-CUP.....	58
Figura 5.5. Valores Medios Mensuales de Temperatura .....	62
Figura 5.6 Indices de producción de residuos sólidos .....	63
Figura 6.1 Sistema de impermeabilización de fondo construido en la Etapa 1 del relleno sanitario de Cupiagua. ....	69
Figura 6.2 Curvas de nivel de aguas subterráneas y líneas de flujo .....	70
Figura 6.3 Descripción del estado actual de las FMRS-CUPIAGUA - Octubre de 2,001.....	72
Figura 6.4 Descripción del sistema de recirculación de lixiviados del Relleno Sanitario de Cupiagua.....	73
Figura 6.5 Descripción de la chimenea de evacuación de gases.....	75

## LISTA DE MATRICES

	<b>pág.</b>
Matriz 6-1 Efectos ambientales en su etapa de post clausura de las FMRS-CUP .....	100
Matriz 6-2 Cuantificación de impactos FMRS-CUP .....	101
Matriz 6-3 Resumen efectos ambientales FMRS-CUP .....	102
Matriz 6-4 Descripción y recomendaciones para FMRS-CUP.....	103
Matriz 6-5 Efectos ambientales relleno sanitario aguazul .....	104
Matriz 6-6 Cuantificación de impactos relleno sanitario aguazul .....	105
Matriz 6-7 Resumen efectos ambientales relleno sanitario aguazul .....	106
Matriz 6-8 Descripción y recomendaciones relleno sanitario aguazul.....	107

## LISTA DE MAPAS

	<b>pág.</b>
Mapa 5-1 Veredas Municipio de Aguazul .....	59
Mapa 5-2 Geología y geomorfología en el área puntual.....	60

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A Cálculo de la Producción de Gases y Lixiviados

ANEXO B Reporte de Datos de Monitoreo

ANEXO C Registro Fotográfico

**TITULO: DIAGNOSTICO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CPF DE  
CUPIAGUA EN SU ETAPA DE POSTCLAUSURA\***

*CARRILLO GARCIA, Luz Angela  
FLOREZ FONSECA, Daniel Fernando\*\**

**RESUMEN**

La empresa BP EXPLORATION COMPANY COLOMBIA opera en los campos de Cusiana, Cupiagua y Piedemonte en el departamento del Casanare (Colombia). Debido a sus ejercicios, generan residuos sólidos de tipo industrial y doméstico, los cuales deben ser dispuestos, razón por la cual, en el año 1995 se realiza el diseño del campo facilitador para el manejo de residuos sólidos de Cupiagua (FMRS-CUP) y en junio de 1998 se inicia su operación a la par con el campo de Cusiana (FMRS-CUS). Durante el tiempo de operación del relleno se utiliza el Nivel 1 de la Etapa, de las cuatro etapas proyectadas, lo cual equivale al 5 % de su vida útil.

Posteriormente la empresa adelanta un estudio técnico y económico de alternativas para el manejo de residuos en el Casanare, siendo una de las conclusiones el cierre de las FMRS-CUP. Es así como en enero de 2.000 se clausura el relleno sanitario de Cupiagua, para lo cual se realiza previamente un plan de clausura y postclausura.

El presente estudio contempla un Diagnostico Ambiental del relleno sanitario del CPF de Cupiagua en su etapa de postclausura, el cual relaciona niveles de estabilización del relleno respecto a la producción de biogas, calidad de lixiviado e interacción con las fuentes de aguas subterráneas y superficiales; también se evalúan parámetros de monitoreo y seguimiento con respecto a los lineamientos exigidos por CORPORINOQUIA y estudio de clausura y post-clausura; adicionalmente se verifican las condiciones ambientales por medio de una lista de chequeo y desarrollo, evaluación y análisis de matrices ambientales. Por último se evalúa la sinergia existente entre las FMRS-CUP y el relleno sanitario de Aguazul.

Todo lo anterior con el fin de verificar estado actual del relleno, recomendar medidas de mitigación o control cuando sea necesario y uso futuro de las FMRS-CUP.

---

\* *Trabajo de Grado*

\*\* *Facultad de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ingeniero Wilson Casas Castro.*

**TITLE: DIAGNOSTIC ENVIRONMENTAL OF THE SANITARY FILLER OF THE CPF OF CUIAGUA, IN THEIR STAGE OF POST-CLOSING\***

*CARRILLO GARCIA, Luz Angela  
FLOREZ FONSECA, Daniel Fernando \*\**

**SUMMARY**

The company BP EXPLORATION COMPANY COLOMBIA operates in the fields of Cusiana, Cupiagua and Piedemonte in the department of the Casanare (Colombia). Due to its exercises, they generate solid residuals of industrial and domestic type, which should be willing, reason for the one which, in the year 1995 are carried out the design of the field facilitator for the handling of solid residuals of Cupiagua (FMRS-CUP) and in June of 1998 its operation begins at the same time with the field of Cusiana (FMRS-CUS). During the time of operation of the filler the Level 1 of the Stage are used, of the four projected stages, that which is equal to 5% of its useful life.

Later on the company advances a technical and economic study of alternatives for the handling of residuals in the Casanare, being one of the conclusions the closing of the FMRS-CUP. It is as well as in January of 2.000 the sanitary filler of Cupiagua is closed, for that which is carried out a closing plan and postclausura previously.

The present study contemplates an Diagnose Environmental of the sanitary filler of the CPF of Cupiagua in its postclausura stage, which relates levels of stabilization of the filler regarding the production of biogas, quality of having leached and interaction with the sources of underground and superficial waters; monitoreo parameters and pursuit are also evaluated with regard to the limits demanded by CORPORINOQUIA and closing study and post-closing; additionally the environmental conditions are verified by means of a checkup list and development, evaluation and analysis of environmental wombs. Lastly the existent synergy is evaluated between the FMRS-CUP and the sanitary filler of Aguazul.

All the above-mentioned with the purpose of verifying current state of the filler, to recommend mitigation measures or control when it is necessary and use future of the FMRS-CUP.

---

\* *Assignment of Grade*

\*\* *Department of Chemical Engineering. Specialization in Environmental Engineering. Manager Wilson Casas Castro.*

## INTRODUCCIÓN

El medio ambiente se define como el entorno en donde se desarrollan los procesos naturales y la relación del hombre con el entorno que lo rodea, el cual se ve afectado comúnmente por las actividades humanas. El agua, el aire, el suelo, la vegetación, la fauna y el paisaje constituyen los componentes del ambiente que guardan relación directa e indirecta con las actividades humanas y consecuentemente constituyen los elementos en que se evidencia una alteración y que a su vez afectan al hombre.

Una de las actividades que puede causar impactos significativos sobre el ambiente es la disposición de los residuos sólidos, en virtud de las características físico-químicas y bacteriológicas de sus componentes y de los procesos que se desarrollan durante el proceso de degradación. Es importante afirmar que un apropiado control sobre la disposición de los residuos y sobre el sitio una vez ha sido clausurado permite minimizar los efectos que se puedan causar sobre el medio ambiente.

## **1. MARCO LEGAL**

A continuación se resumen las normas ambientales relacionadas con operación, clausura y post clausura de rellenos sanitarios, de entidades como la EPA, la CEE y RAS 2000, con el fin de tomarlas como base para las evaluaciones del diagnóstico que ocupa este estudio.

### **1.1 NORMAS AMBIENTALES RELACIONADAS CON OPERACIÓN CLAUSURA Y POSTCLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS**

#### **1.1.1 Normas Comunidad Económica Europea CEE**

Esta se rige por la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos.

“EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, Visto el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea y, en particular, el apartado 1 de su artículo 130 S, Vista la propuesta de la Comisión (1), Visto el dictamen del Comité Económico y Social (2) enuncia: Artículo 13”.

##### **1.1.1.1 Procedimiento de clausura y post-clausura**

De acuerdo, si procede, con la autorización, los Estados miembros tomarán medidas para que se cumplan las prescripciones siguientes:

**Tabla 1-1. Parámetros de cierre y mantenimiento posterior según CEE**

No.	TEMÁTICA	OBSERVACION
a)	Inicio de Procedimiento de cierre de un vertedero o de parte del mismo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando se cumplan las condiciones correspondientes enunciadas en la autorización.</li> <li>- Con autorización de la autoridad competente, a solicitud de la entidad explotadora.</li> <li>- Por decisión motivada de la autoridad competente.</li> </ul>
b)	Un vertedero o parte del mismo sólo podrá considerarse definitivamente cerrado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Después de que la autoridad competente haya realizado una inspección final in situ.</li> <li>- Después de evaluados los informes presentados por la entidad explotadora y comunicación por parte de la autoridad competente a la entidad explotadora de la aprobación para el cierre.</li> </ul>
c)	Después de que un vertedero haya sido definitivamente cerrado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La entidad explotadora será responsable del mantenimiento, vigilancia y control en la fase posterior al cierre durante el plazo que exija la autoridad competente, teniendo en cuenta el tiempo durante el cual el vertedero pueda entrañar riesgos.</li> <li>- La entidad explotadora notificará a la autoridad competente todo efecto negativo significativo para el medio ambiente revelado por los procedimientos de control y acatará la decisión de la autoridad competente sobre la naturaleza y el calendario de las medidas correctoras que deban adoptarse.</li> </ul>
d)	Mientras la autoridad competente considere que un vertedero puede constituir un riesgo para el medio ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La entidad explotadora será responsable de la vigilancia y análisis de los gases, los lixiviados del vertedero y del régimen de aguas subterráneas en las inmediaciones del mismo, según lo dispuesto en el Anexo III del documento de la CEE.</li> </ul>

Fuente: adaptado por los autores de "parámetros de cierre y mantenimiento posterior según Comunidad Económica Europea"

### 1.1.1.2 Procedimientos de control y vigilancia en fase de operación, clausura y post-clausura según CEE III

A continuación se resumen en la **Tabla 1-2**, los procedimientos de control para los rellenos sanitarios en sus diferentes etapas según la Comunidad Económica Europea.

**Tabla 1-2. Procedimientos de control y vigilancia según CEE**

CONTROL	TEMÁTICA	OBSERVACION
Datos meteorológicos	En virtud de su obligación de informar (artículo 15), los Estados miembros deberán facilitar información sobre el método de recogida de datos meteorológicos. Corresponde a los Estados miembros decidir cómo deben recopilarse dichos datos (insitu, por medio de las redes meteorológicas nacionales, etc.).	
	Si los Estados miembros deciden que el balance hidrológico constituye un instrumento eficaz para evaluar si se acumula lixiviado en el vaso de vertido o si el emplazamiento presenta filtraciones, se recomienda recoger los siguientes datos de la vigilancia en el vertedero o de la estación meteorológica más próxima, en la medida en que lo requieran las autoridades competentes con arreglo al apartado 3 del artículo 13 de la presente Directiva: <i>fase de mantenimiento posterior</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de precipitación: diariamente mas los valores mensuales.</li> <li>- Temperatura: media anual.</li> <li>- Evaporación: diariamente mas los valores mensuales.</li> <li>- Humedad atmosférica: media mensual.</li> </ul>
Control de aguas, lixiviados y gases	El control de las aguas superficiales, si las hay, deberá llevarse a cabo en un mínimo de dos puntos, uno aguas arriba del vertedero y otro aguas abajo: <i>fase de mantenimiento posterior</i> .	Volumen y composición de las aguas superficiales: cada 6 meses.
	Las tomas de muestras y medición (volumen y composición) del lixiviado deberán realizarse por separado en cada punto en que se descargue el lixiviado del emplazamiento. Referencia: "Principios generales de la tecnología de toma de muestras", documento ISO 5667-2 (1991): <i>fase de mantenimiento posterior</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de lixiviados: cada 6 meses.</li> <li>- Composición de los lixiviados: cada 6 meses.</li> </ul>
	El control de gases deber á ser representativo de cada sección del vertedero: <i>fase de mantenimiento posterior</i> .	Emisiones potenciales de gas y presión atmosférica CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> , etc, cada 6 meses.

CONTROL	TEMÁTICA	OBSERVACION
Protección de las aguas subterráneas	A. Toma de muestras	Las mediciones deberán dar información sobre las aguas subterráneas que puedan verse afectadas por el vertido de residuos, con al menos un punto de medición en la zona de entrada de dichas aguas y dos en la de salida. Este número podrá aumentarse sobre la base de un reconocimiento hidrogeológico específico y teniendo en cuenta la necesidad de detectar rápidamente cualquier vertido accidental de lixiviados en las aguas subterráneas. Antes de iniciar las operaciones de colmatación, se tomarán muestras, como mínimo, en tres puntos, a fin de establecer valores de referencia para posteriores tomas de muestras. Referencia: "Toma de muestras en aguas subterráneas", documento ISO 5667 (1993), parte 11.
	Vigilancia: Los parámetros que habrán de analizarse en las muestras tomadas deberán determinarse en función de la composición del lixiviado prevista y de la calidad del agua subterránea de la zona. Al seleccionar los parámetros para análisis, deberá tenerse en cuenta la movilidad en la zona de aguas subterráneas. Entre los parámetros podrán incluirse indicadores que garanticen un pronto reconocimiento del cambio en la calidad del agua.	Nivel de aguas subterráneas: cada 6 meses Composición de aguas subterráneas: frecuencia específica del lugar.
	C. Niveles de intervención	Por lo que respecta a las aguas subterráneas, deberá considerarse que se han producido los efectos medioambientales negativos y significativos a que se refieren los artículos 12 y 13 de la presente Directiva cuando el análisis de la muestra de agua subterránea muestre un cambio significativo en la calidad del agua. Deberá determinarse un nivel de intervención teniendo en cuenta las formaciones hidrogeológicas específicas del lugar en el que esté situado el vertedero y la calidad de las aguas subterráneas. El nivel de intervención deberá establecerse en la autorización siempre que sea posible.  Las observaciones deberán evaluarse mediante gráficos de control con normas y niveles de control establecidos para cada pozo situado aguas abajo. Los niveles de control deberán determinarse a partir de las variaciones locales en la calidad de las aguas subterráneas.  Parámetros recomendados: pH, COT, fenoles, metales pesados, fluoruro, arsénico, petróleo/hidrocarburos.
Topografía de la zona	Datos sobre el vaso de vertido	
	Comportamiento de asentamiento del nivel del vaso de vertido.	Lectura anual

Fuente: Adaptado por los autores de "Procedimientos de control y vigilancia según CEE"

### 1.1.2 Normas de EPA Agency Protection Enviromental (Agencia de Protección Ambiental EEUU)

A continuación se enumeran los requisitos según EPA para clausura y post-clausura de rellenos sanitarios:

#### 1.1.2.1 Cobertura final

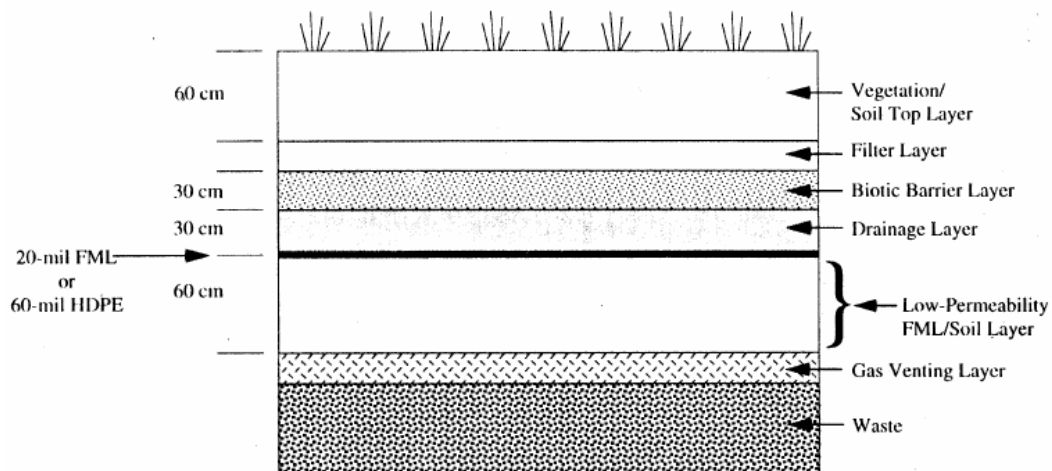
A continuación se definen las especificaciones que debe cumplir la cobertura final según EPA.

**Tabla 1-3. Requisitos para cobertura final**

ASPECTO	CARACTERÍSTICA	RECOMENDACIÓN	OBJETIVO
Cobertura final	Permeabilidad	Menor o igual a $1 \times 10^{-5}$ cm/seg.	Evitar la infiltración de aguas lluvia al relleno sanitario.
	Espesor de material impermeable.	Mínimo de 45,72 cm (18 Pulg).	Minimizar infiltración.
	Espesor de humus	Mínimo 6 pulg (15.24 cm).	Minimizar la erosión y generar cubierta vegetal.
	Conductividad hidráulica.	Menor o igual a $1 \times 10^{-5}$ cm/seg.	Evitar la infiltración de aguas lluvia al relleno sanitario.
	Geomembrana	Si la permeabilidad del suelo natural es mayor o igual a $1 \times 10^{-8}$ cm/seg.	Evitar infiltración de aguas de escorrentía.
	Inclinación de la cobertura final.	Mínimo 3% (1,7°) y máximo 5% (2,8°).	Buen drenaje de aguas de escorrentía.
	Inclinaciones laterales > al 5% de la cobertura.	Se debe evaluar erosión potencial.	Evitar generación de procesos erosivos.
	Capa impermeable y geomembrana.	Debe colocarse capas arcillosas y membranas para evitar heladas.	Las heladas generan microfracturas, que aumentan la conductividad hidráulica de la arcilla.
	Geomembrana	Espesor mínimo 20 mils (0.5 mm).	Evitar infiltración.

Fuente: tomado de U.S. EPA, CHAPTER 6 SUBPART F CLOUSURE AND POST-CLOUSURE.

**Figura 1.1. Alternativa para cobertura final EPA**



**Tabla 1-4. Alternativa para el diseño de cobertura final**

ESPESOR (cm)	TIPO DE CAPA
60	Vegetación /capa de tierra (humus)
	Lecho filtrante
30	Capa de barrera biótica
30	Capa de desagüe
20 mil o 60 mil	Geomembrana
60	Capa de baja permeabilidad
	Lecho salida de gas
	Residuos sólidos

Fuente: tomado de U.S. EPA, CHAPTER 6 SUBPART F CLOSURE AND POST-CLOSURE.

### 1.1.2.2 Relación de regulaciones-plan de clausura 40 CFR

Los propietarios u operadores deben preparar un plan de clausura, que describa los pasos necesarios para cerrar las (MSWLF) unidades de manejo integral de residuos sólidos en cualquier momento durante su vida activa, de acuerdo con los requisitos de diseño, referenciados en §258.60(a)-(b) según aplique. El plan de clausura debe incluir como mínimo la siguiente información:

**Tabla 1-5. Regulación plan clausura**

LITERAL	DESCRIPCIÓN
(1)	Descripción de la capa final de acuerdo con 258.60(a), métodos y procedimientos que deben ser usados en la cobertura.
(2)	Estimativo del área mayor de MSWLF sobre la cual se requiere una cobertura final según lo establecido bajo §258.60(a) en cualquier momento durante la vida útil
(3)	Un estimado del volumen de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario durante su vida útil.
(4)	Un programa completo de todas las actividades necesarias para satisfacer los criterios de clausura según lo establecido en §258.60
	El propietario u operador debe notificar al Director Estatal que un plan de clausura se ha preparado y establecido en los registros de operación, de acuerdo con las fechas establecidas

Fuente: tomado de U.S. EPA, CHAPTER 6 SUBPART F CLOSURE AND POST-CLOSURE.

### 1.1.2.3 Requisitos de solicitud de post-clausura-relación de regulaciones

Después de la clausura, el propietario u operador debe llevara a cabo la solicitud de la post-clausura. El monitoreo y seguimiento debe llevarse a cabo durante 30 años posterior al cierre, excepto lo establecido en el parágrafo (b) y consiste en por lo menos lo siguiente:

**Tabla 1-6. Requisitos de solicitud de post-clausura-relación de regulaciones**

LITERAL	CARACTERÍSTICA
(1)	Mantener la efectividad e integridad de la cobertura final, incluso las enmendaduras o reparaciones que sean necesarias para corregir los efectos de: subsidencia, erosión, ajustes u otros eventos, además de prevenir escorrentías incontroladas e infiltraciones; que afecten la cobertura fina.
(2)	Manteniendo y operando el sistema de recolección de lixiviados de acuerdo con los requisitos en §258.40, si aplica. El Director, puede autorizar al propietario u operador ya parar el manejo de lixiviados, si demuestran que los lixiviados no son una amenaza para la salud humana y el ambiente.
(3)	Monitoreo y mantenimiento del sistema de aguas subterráneas de acuerdo con los requisitos de Subparte E §258.40 si aplica.
(4)	Mantenimiento y operación del sistema de monitoreo de acuerdo a los procedimientos de §258.40.
(B)	El periodo de tiempo de post-clausura debe ser: (1) disminuido por el director y aprobado por el estado si el propietario u operador demuestra que el corto periodo es suficiente para proteger la salud humana y el medio ambiente y esta demostración es aprobada por el director de un estado; o (2) incrementado por el director de un estado aprobado, si determina que el periodo incrementado es necesario para proteger la salud humana y el medio ambiente.

Fuente: tomado de U.S. EPA, CHAPTER 6 SUBPART F CLOSURE AND POST-CLOSURE.

#### 1.1.2.4 Plan de post-clausura 40cfr 258.61( C)–(e) resumen de regulaciones

(C) el propietario u operador de todas las unidades de MSWLF<sup>1</sup> debe preparar un plan de post-clausura escrito que incluya, como mínimo la siguiente información:

**Tabla 1-7. Plan de post-clausura 40cfr 258.61(C)–(e) resumen de regulaciones**

LITERAL	CARACTERÍSTICA
(1)	Una descripción de las actividades de monitoreo y mantenimiento requeridas en §258.61 (a) para cada unidad de MSWLF, y la frecuencia a la cual estas actividades serán desarrolladas.
(2)	Nombre dirección y número telefónico de la persona y oficina de contacto a cerca de las facilidades durante el periodo de post-clausura.
(3)	Una descripción de los usos planeados del propietario durante el periodo de post-clausura. El uso de la post-clausura del propietario no debe alterar la integridad de la cobertura final, líneas o cualquier otro componente del sistema abarcado o la función de los sistemas de monitoreo, a menos que sea necesario cumplir con los requisitos de la parte 258. El director de un estado aprobado puede aprobar cualquier otro cambio por parte del operador si no incrementa la amenaza potencial a la salud humana y al medio ambiente.
(e)	Continuando con la finalización con la solicitud de post-clausura, el periodo para cada unidad MSWLF, el propietario u operador debe notificar al director del estado con una certificación, firmada por un profesional independiente registrado, ingeniero o aprobado por el director de un estado aprobado, verificando que la solicitud de post-clausura ha sido ejecutada de acuerdo con el plan de post-clausura, la cual a sido establecida en el registro de operación.

Fuente: tomado de U.S. EPA, CHAPTER 6 SUBPART F CLOSURE AND POST-CLOSURE.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS

Aunque se han propuesto a lo largo de los años algunos sistemas para clasificación de residuos sólidos, los sistemas mas comúnmente utilizados son:

### 1.2.1 Clasificación de rellenos según Comunidad Económica Europea CEE

Según CEE las clases de vertederos (rellenos sanitarios) se referencia en directiva 1999/31/CE del consejo, de 26 de abril de 1999, relativo al vertido de residuos. Se clasifican en:

“Cada vertedero se clasificará en una de las clases siguientes”:

- Vertedero para residuos peligrosos
- Vertedero para residuos no peligrosos
- Vertedero para residuos inertes

<sup>1</sup> MSWLF: Municipal solid waste land fill (Relleno sanitario de residuos municipales)

### 1.2.2 Clasificación de rellenos-Sistema de California

Fue adoptado en California en 1984, quizás sea el mas ampliamente aceptado. En este sistema presentado a continuación se utilizan tres clasificaciones:

**Tabla 1-8. Clasificación de rellenos según sistema de California**

CLASIFICACIÓN	TIPO DE RESIDUO
I	Residuos peligrosos
II	Residuos singulares o especiales
III	Residuos sólidos urbanos o no peligrosos

Fuente. *Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous.*

Es importante tener en cuenta que este sistema de clasificación esta enfocado principalmente hacia la protección de aguas subterráneas y superficiales y no hacia la migración del gas del relleno sanitario o hacia la calidad del aire.

### 1.3 NORMA TECNICA DE ASEO EN COLOMBIA. RAS 2000

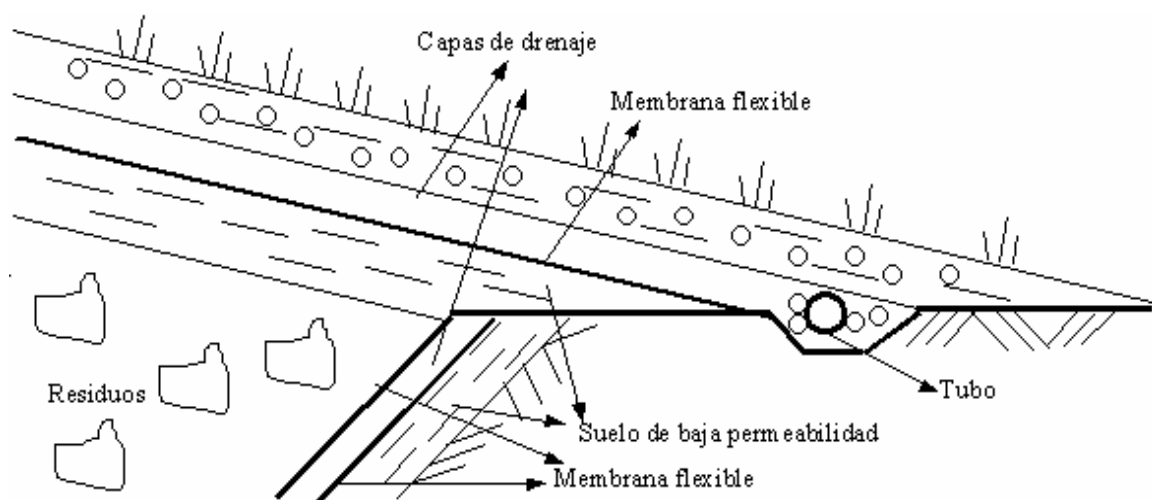
Los siguientes componentes deben ser considerados en la etapa de clausura del relleno sanitario parcial o total:

- **Cobertura final**

El sistema de cubierta debe ser diseñado y construido de acuerdo con los siguientes parámetros:

- Debe minimizar la infiltración y percolación de líquidos al relleno sanitario durante todo el periodo de posclausura.
- Debe aislar del medio ambiente los residuos sólidos rellenos.
- Debe conducir el agua de escorrentía de manera que no desarrolle cárcavas debidas a la erosión.
- Debe evitar la salida de gases tóxicos en caso de que se dispongan sustancias volátiles peligrosas en el relleno sanitario.
- La construcción del sistema de cubierta debe tener en cuenta el asentamiento inicial, y debe mantener la integridad de la capa impermeable durante los periodos de clausura y posclausura.
- Puede colocarse una cubierta temporal que minimice la infiltración en el relleno sanitario para que el sistema de recolección de lixiviados opere apropiadamente. Su espesor mínimo debe ser de 0.30 m. Deben emplearse métodos para prevenir la erosión y la exposición del residuo.

1. **Perfil de la cobertura.** El perfil mínimo de cubierta requerido debe constar de una capa de control de infiltración para **los niveles medio y bajo de complejidad**. El **nivel medio alto**, debe conformar la cobertura con la capa de control de infiltración y de erosión. Para el **nivel alto de complejidad**, el perfil de cobertura debe contener la capa de control de infiltración, la capa de control de erosión, sistema de recolección de gas y una capa de drenaje.
  - a) **Capa o barrera de control de infiltración.** Si la impermeabilización del relleno sanitario está constituida por el suelo natural (in situ), la capa de control de infiltración debe consistir de un estrato de suelo compactado de un espesor mínimo de 0.45 m y una permeabilidad máxima de  $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Si en el diseño de la impermeabilización del relleno sanitario se utiliza un sistema de estrato compuesto, debe instalarse una geomembrana sobre el estrato de suelo compactado. Se puede aprobar la utilización de un sistema alternativo con infiltración equivalente o menor que el sistema descrito. El material de la geomembrana usado para la cobertura final debe ser de larga duración y debe tolerar deformaciones inducidas por la subsidencia.
  - b) **Capa de control de erosión.** El espesor mínimo requerido de la capa de erosión es de 0.15 m. El espesor de esta capa debe ser evaluado usando un análisis de balance hídrico y debe proporcionar la humedad disponible para las plantas durante periodos prolongados de sequía. Las pendientes requeridas serán menores que 4:1 (H:V). La erosión hídrica puede ser controlada también por endurecimiento de la superficie de la cubierta mediante riprap.
  - c) **Capa de drenaje.** Debe localizarse en algunas partes del sistema de cubierta con pendientes mayores que la relación 5:1 (H:V). Esta capa debe retener la humedad que se infiltra de la capa de control de erosión y que se acumula sobre la capa de infiltración, evitando el deslizamiento de la capa de control de erosión por presiones excesivas de poros. El material de esta capa debe ser un agregado limpio de tamaño uniforme y debe cumplir con los siguientes requisitos:  $D_{85} < 4D_{15}$  y  $D_2 < 0.25 \text{ cm}$ . Esta capa debe diseñarse y construirse de manera que la descarga del flujo vaya en dirección lateral, para minimizar la cabeza hidrostática en la capa permeable y establecer un recorrido de los líquidos infiltrados para salir del sistema de cubierta. Los tubos de drenaje necesarios para controlar la cabeza hidrostática deben localizarse dentro de la capa de drenaje e instalarse a una distancia que asegure que la cabeza hidrostática sobre la capa impermeable no exceda el espesor de la capa de drenaje durante una tormenta de 24 horas en 25 años. Una grava gruesa debe rodear al tubo de drenaje para minimizar el movimiento de partículas de suelo dentro de la tubería.
  - d) **Sistema de recolección de gas.** En el sistema de venteo de gas pueden utilizarse pozos verticales de gravas, colchones recolectores, drenes de grava en trinchera para recolectar los gases del relleno. Los gases deben ser dirigidos a la cubierta a través de tubos de venteo. Esta capa debe localizarse directamente bajo el estrato impermeable y sobre el residuo compactado.

**Figura 1.2. Capa de drenaje**

Fuente: RAS 2000

- Estabilidad de la pendiente de la cubierta.** La pendiente de la cubierta del relleno debe ser estable para mantener la infiltración y la escorrentía de una tormenta de 24 horas en 25 años. Para pendientes mayores de 5:1 (H:V), debe asegurarse que el estrato de drenaje constituya parte de la cobertura final, también debe asegurarse que la fricción en la interfase de los estratos adyacentes que forman la cubierta sea suficiente para prevenir la falla por deslizamiento. Deben realizarse pruebas de fricción en la interfase para determinar una pendiente máxima aceptable para la cubierta del relleno, la cual corresponde a la mínima pendiente obtenida durante las pruebas.

La pendiente final mínima de la cubierta después de que hayan ocurrido los asentamientos y la subsidencia debe ser de 3%.

- Efectos de subsidencia**

La subsidencia local en el relleno sanitario puede producir depresiones en la cubierta, las cuales pueden ocasionar excesivas deformaciones de tensión en los estratos de la cubierta y conducir al almacenamiento de agua. Este impacto puede ser minimizado usando una geomembrana con características de alta resistencia a deformaciones biaxiales. Debe evitarse el almacenamiento de agua para que no cause la destrucción de la vegetación ni la expansión del agua en la cubierta.

- Efectos climáticos**

La cubierta debe ser capaz de resistir condiciones climáticas extremas y debe permanecer en constante funcionamiento con un mínimo de mantenimiento.

- **Cuidados después del cierre del relleno sanitario**

Después de cerrar el relleno e instalar la cubierta final, se debe realizar el monitoreo y el mantenimiento para asegurar que el relleno permanezca seguro y estable. Los cuidados de posclausura y monitoreo deben realizarse durante el tiempo en el cual se garantice la estabilidad de los residuos. Debe prepararse un plan de mantenimiento de posclausura y monitoreo, el cual debe incluir:

1. Fechas de iniciación y terminación del periodo de posclausura.
2. Descripción del plan de monitoreo.
3. Descripción del programa de mantenimiento
4. Personal del relleno en caso de emergencias.
5. Descripción del uso final del sitio.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diagnóstico ambiental del relleno sanitario del CPF<sup>2</sup> de Cupiagua en su etapa de postclausura.

#### 2.1.1 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico con respecto a estudios de impacto ambiental, diseño, construcción, optimización, operación, clausura y post-clausura del relleno sanitario CPF de Cupiagua con el fin de elaborar el diagnóstico ambiental de condiciones actuales y análisis de seguimiento, control y monitoreo ambiental del relleno sanitario.
- Verificar las condiciones ambientales del relleno sanitario con el fin de evaluar si se está implementando el plan post-clausura y recomendar medidas de mitigación, control y seguimiento ambiental.
- Realizar una revisión con respecto al cumplimiento de la licencia ambiental del proyecto emitida por CORPORINOQUIA.
- Evaluar condiciones actuales con el fin de recomendar sobre uso futuro del relleno sanitario.
- Evaluar la Sinergia entre las facilidades de manejo de residuos sólidos de Cupiagua (FMRS-CUP) y el relleno sanitario de Aguazul.

---

<sup>2</sup> CPF: Central production facilities (Facilidades centrales de producción de petróleo)

### 3. METODOLOGÍA

Con el fin de realizar un análisis objetivo y lógico, este estudio se elaboró en tres fases, la primera contempla la recolección de información y análisis preliminar de la misma; la segunda una visita preliminar al relleno y posteriormente un trabajo de campo estructurado. La última corresponde al trabajo de oficina, análisis de información, entre otros.

#### 3.1 FASE 1

Corresponde a la recolección y análisis de la información existente, la cual fue facilitada por la empresa operadora del campo Cupiagua, BP exploration:

##### 3.1.1 Análisis de información secundaria

Se realizó una recopilación y evaluación preliminar de los siguientes documentos que corresponden a las facilidades de manejo de residuos sólidos FMRS del CPF de Cupiagua, donde se localiza el relleno:

- GEOTEC INGENIERÍA LTDA. Plan de Clausura y Post-clausura facilidades de manejo de residuos Sólidos de Cupiagua. 2001.
- Estudios de diseño desarrollado por la firma HIDROMECANICAS LTDA. Incluyen Planos de diseño, Manual de Operación, Documento de diseño y Estudio de Impacto Ambiental. 1995
- Evaluación de riesgo de contaminación y diseño del sistema de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales. INGEMÉTRICA LTDA. 1996
- Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental facilidades de manejo de producción CPF Cupiagua. GRADEX LTDA.
- Estudios complementarios GRADEX LTDA.
- Informes de monitoreo y seguimiento de la INTERVENTORÍA de la empresa DUVAL. 1996-2004.
- Resolución N° 200-15-0297 del 12 de junio de 2002. por el cual resuelve CORPORINOQUIA, aprobar a la empresa BP Exploration Company el Plan de Clausura temporal y Post-clausura de las facilidades de manejo de residuos sólidos del campo Cupiagua.

Además se apoyó de la siguiente legislación ambiental:

- Decreto 1713 de agosto 6 de 2002 Programa de Gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).
- Decreto 1180 de 10 de mayo de 2003 licencias ambientales.
- Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. usos del agua y residuos líquidos.
- Ley 2811 de 1974 ley de los recursos naturales.

También se apoyó de los siguientes textos:

- TCHOBANOGLOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. México: McGRAW-HILL 1998. p.1107.
- INGEOMINAS-CVC-CORALINA. Manejo integrado de residuos sólidos urbanos 2000 p 125.
- Normas de EPA Agency Protection Enviromental (Agencia De Protección Ambiental EEUU).
- Normas Comunidad Económica Europea CEE: Esta se rige por la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999.
- Guías ambientales de rellenos sanitarios Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial.

### **3.1.2 Estructuración de información primaria**

De acuerdo con el análisis preliminar se realizó una caracterización de los parámetros ambientales que se han tenido en cuenta, con el fin de evaluar el control ambiental y proyectarlo hacia medidas de mitigación de impacto.

## **3.2 FASE 2: TRABAJO DE CAMPO**

Posterior al análisis de la información secundaria se realizó una planeación estratégica de la metodología de trabajo y posteriores visitas a campo, las cuales se describen a continuación:

De las varias reuniones sostenidas con los Ingenieros Marco Vinicio Cárdenas y Carlos Vargas de la empresa BP Exploration, a partir del 20 de octubre de 2003 a la fecha; se establecieron los temas principales de estudio de la presente monografía, así como su alcance, cronograma de ejecución. Adicionalmente se plantearon lineamientos con referencia a recomendar el uso futuro del relleno sanitario Cupiagua, y de algunos residuos generados desde su construcción.

### 3.2.1 Visita preliminar

Se realizó los días 26 y 27 de diciembre de 2003 la primer visita de campo al CPF-CUP y a las FMRS-CUP con el fin de evaluar en forma inicial los parámetros ambientales actuales y programar valoración de calidad de agua subterránea, superficial y lixiviados. La visita de campo se realizó contando con el acompañamiento del Ingeniero Mauricio Valderrama de la empresa DUVAL, delegada por BP para hacer la interventoría a los planes de Operación, Monitoreo, seguimiento y mantenimiento de los rellenos sanitarios de Cusiana y Cupiagua; además se contó con el apoyo en el CPF Cupiagua de los Ingenieros Karim Perdomo y Ricardo Sandoval por parte de BP.

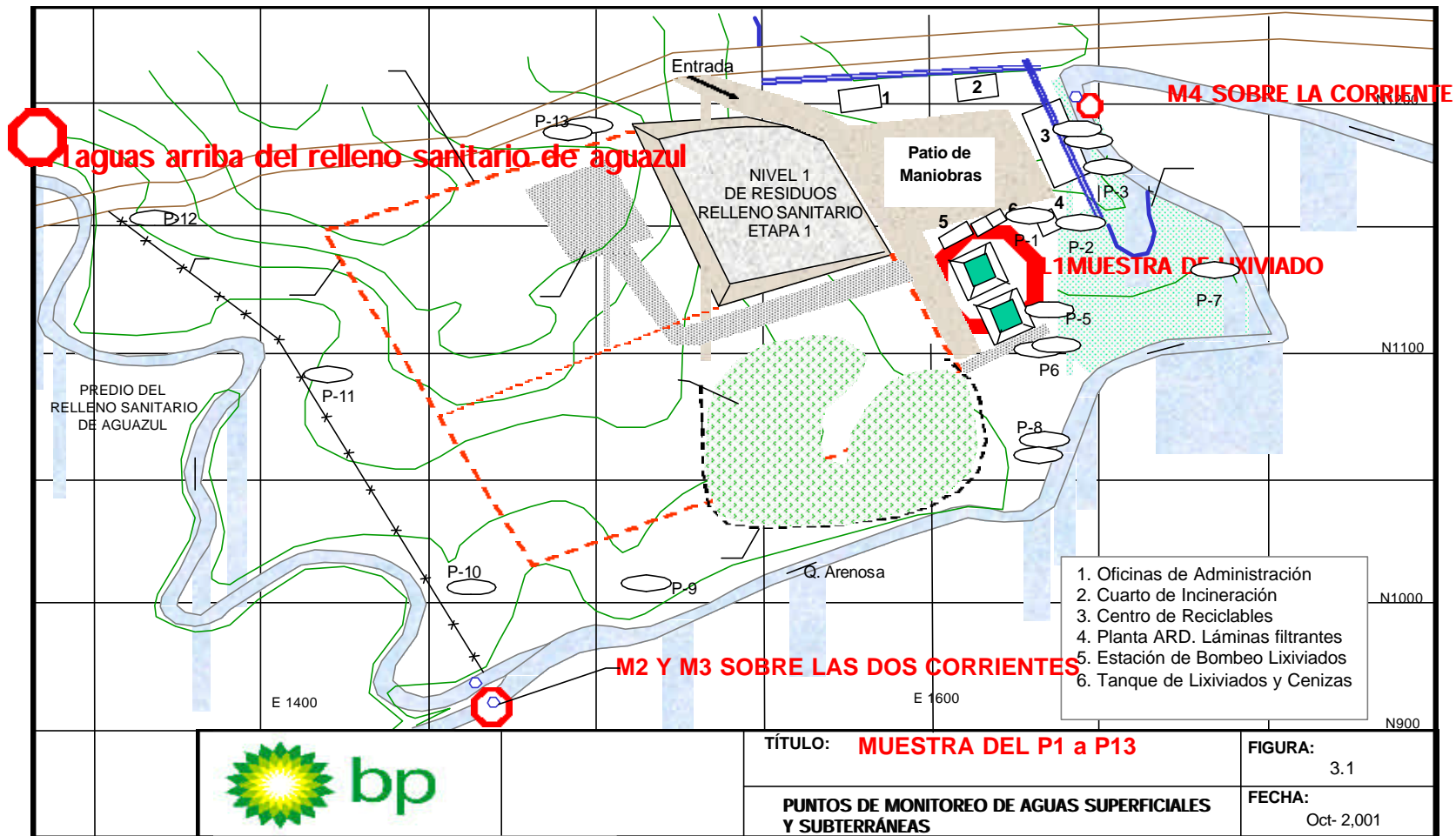
Se solicitó la siguiente información de monitoreo de aguas a la empresa BP exploration Company la cual fue valorada por la empresa ILAM LTDA:

- Calidad de agua de las fuentes superficiales de la Quebrada Arenosa y Obsequia en cuatro puntos aguas arriba y aguas debajo de las FMRS-Cupiagua. (**Figura 3.1**).
- Calidad de agua de los piezómetros del P1 al P13.
- Calidad de agua de la piscina de lixiviados.

Esta información fue evaluada por la empresa ILAM LTDA el día 9 de enero de 2004. Debido a la baja precipitación (tiempo seco) del mes de enero fue posible tomar datos, solo de la piscina de lixiviados, piezómetro 11 y piezómetro 13.

### 3.2.2 Visita de campo

Se realizó esta visita al FMRS-CUP (facilidad de manejo de residuos sólidos de Cupiagua) los días 26, 27 y 28 de febrero de 2004, efectuando un reconocimiento minucioso del terreno, elaborando un diagnóstico de la situación actual con el soporte de una lista de Chequeo (elaborada por los autores, como resultado del análisis de la información secundaria) del relleno Sanitario de Cupiagua. Se contó con el apoyo en campo del Ingeniero Daniel Rodríguez de la empresa SERINGCA, empresa encargada de la operación y mantenimiento de los rellenos sanitarios de Cusiana y Cupiagua y dos de los antiguos operadores del FMRS- CUP. En CPF Cupiagua se contó con el apoyo del Ingeniero Edgar Pérez de la empresa BP para esta visita.



TÍTULO: **MUESTRA DEL P1 a P13**

FIGURA: 3.1

PUNTOS DE MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

FECHA: Oct-2,001

## 4. MARCO TEORICO

### 4.1 DEFINICIONES, USOS, VENTAJAS, DESVENTAJAS

A continuación se tratarán las definiciones básicas, para la mejor comprensión de este estudio, así como los usos, ventajas y desventajas de los rellenos sanitarios.

#### 4.1.1 Definiciones

Para efectos del presente trabajo se adoptaron las siguientes definiciones contenidas en la norma técnica de aseo:

- **Relleno sanitario:** Lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.
- **Residuo sólido:** Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.
- **Basura:** Todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o recirculación a través de un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, no se reincorporan al ciclo económico y productivo, requieren de tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.
- **Biogas:** Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de las basuras, cuyo componente principal es el metano.
- **Botadero:** Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las disposiciones vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general.

- **Caracterización de los residuos:** Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de un residuo sólido, identificando contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica.
- **Celda diaria:** Área definida donde se esparcen y compactan los residuos durante el día para cubrirlos al final del mismo.
- **Cubierta diaria:** Capa de material natural o sintético con que se cubren los residuos depositados en un relleno sanitario durante un día de operación.
- **Cubierta final:** Revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.
- **Disposición final de residuos:** Proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, en forma definitiva, efectuado por las personas prestadoras de servicios, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales fermentables, de modo que no representen daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.
- **Emisión:** Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.
- **Geomembrana:** Material sintético impermeable.
- **Infiltración:** Proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo.
- **Lixiviado:** Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y aneróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.
- **Material de cubierta:** Material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.
- **Monitoreo:** Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.
- **Nivel freático:** Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.
- **Permeabilidad:** Propiedad que tiene los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de él.
- **Residuo sólido industrial:** Residuo generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción.

- **Residuos sólidos urbanos o residuos no peligrosos:** Residuos generados en viviendas, parques, jardines, vía pública, oficinas, mercados, comercios, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y, en general, todos aquellos generados en actividades urbanas que no requieran técnicas especiales para su control.
- **Vectores:** Organismos, generalmente insectos o roedores que transmiten enfermedades. Medio de transmisión de un patógeno de un organismo a otro.

#### 4.1.2 Usos

Los rellenos sanitarios son instalaciones ingenieriles para la evacuación de residuos sólidos urbanos RSU, diseñados y explotados para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud pública. Existen diferentes usos dependiendo la clase de residuos a depositar (ver clasificación de residuos según CEE 2.2.1).

Generalmente se identifican como unidades para la gestión de residuos sólidos.

#### 4.1.3 Ventajas del relleno sanitario

A continuación se definen las ventajas de un relleno sanitario.

**Tabla 4-1. Ventajas del relleno sanitario**

VENTAJAS	
1	El relleno sanitario, como método de disposición final de los desechos sólidos urbanos, es <b>la alternativa más conveniente</b> para países suramericanos. Sin embargo, es esencial asignar recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.
2	La <b>inversión inicial</b> de capital es inferior a la que se necesita para implantar el método de incineración.
3	Han sido el método más económico y ambientalmente mas aceptable para la evacuación de residuos sólidos en EEUU y todo el mundo.
4	Un relleno sanitario es un <b>Método completo y definitivo</b> , dada su capacidad para recibir todo tipo de desechos sólidos, obviando los problemas de cenizas de la incineración y de la materia no susceptible de descomposición en la compostación.
5	<b>Generar empleo</b> de mano de obra no calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
6	<b>Recuperar gas metano</b> en grandes rellenos sanitarios que reciben más de 200 ton/día, lo que constituye una fuente alternativa de energía.
7	Su lugar de emplazamiento puede estar tan <b>cerca al área urbana</b> como lo permita la existencia de lugares disponibles, reduciéndose así los costos de transporte y facilitando la supervisión por parte de la comunidad.

8	<b>Recuperar terrenos</b> que hayan sido considerados improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de un parque, área recreativa, campo deportivo.
9	Un relleno sanitario puede comenzar a <b>funcionar en corto tiempo</b> como método de eliminación.
11	Se considera <b>flexible</b> , ya que no precisa de instalaciones permanentes y fijas, y también debido a que está apto para recibir mayores cantidades adicionales de desechos con poco incremento de personal.
12	Incluso con la implantación de la reducción de residuos, del reciclaje y de las tecnologías de transformación, la evacuación en rellenos sanitarios de los rechazos procedentes de los residuos sólidos, sigue siendo un componente importante dentro de una estrategia para la gestión integral de residuos sólidos.

Fuente: Adaptado por los autores de: "Guía del Ministerio del medio Ambiente y Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous".

#### 4.1.4 Desventajas

A continuación se definen las desventajas de un relleno sanitario.

**Tabla 4-2. Desventajas de un relleno sanitario**

DESVENTAJAS	
1	<p>La <b>adquisición del terreno</b> constituye la primera barrera para la construcción de un relleno sanitario, debido a la oposición que se suscita por parte del público, ocasionada en general por factores tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario.</li> <li>• Asociarse el término "relleno sanitario" al de un "botadero de basuras a cielo abierto.</li> <li>• La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales.</li> </ul>
2	"El rápido proceso de urbanización que encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, debiéndose ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de las rutas de recolección, lo cual aumenta los costos de transporte.
3	La <b>supervisión constante</b> de la construcción para mantener un alto nivel de calidad de las operaciones. En las pequeñas poblaciones, la supervisión de rutina diaria debe estar en manos del encargado del servicio de aseo, debiendo éste contar a su vez con la asesoría de un profesional responsable, dotado de experiencia y conocimientos técnicos adecuados, quien inspecciona el avance de la obra cada cierto tiempo, a fin de evitar fallas futuras.
4	Existe un <b>alto riesgo</b> de transformarlo en botadero a cielo abierto por la carencia de voluntad política de las administraciones municipales, ya que se muestran renuentes a invertir los fondos necesarios para su correcta operación y mantenimiento.
5	Los <b>asentamientos</b> más fuertes se presentan en los primeros dos años después de terminado el relleno, por lo tanto se dificulta el uso del terreno. El tiempo de asentamiento dependerá de la profundidad del relleno, tipo de desechos sólidos, grado de compactación y de la precipitación pluvial de la zona.

DESVENTAJAS	
6	El escape incontrolado de los gases del relleno sanitario que pueden migrar fuera del lugar y causar olores y unas condiciones potencialmente peligrosas.
7	El impacto de la descarga de los gases de l relleno sanitario sobre el efecto invernadero en la atmósfera.
8	Salida incontrolada del lixiviado que puede migrar hacia aguas subterráneas o superficiales.
9	Reproducción de vectores sanitarios en rellenos incorrectamente gestionados.
10	Los impactos sobre la salud y el ambiente relacionados con el escape de gases en cantidades traza que surgen a partir de materiales peligrosos que fueron colocados en el pasado dentro del relleno.

Fuente: *Adaptado por los autores de: "Guía del Ministerio del medio Ambiente y Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous".*

#### 4.2 INTERACCIONES DE UN RELLENO SANITARIO CON EL MEDIO AMBIENTE

Los rellenos sanitarios constituyen las tecnologías de disposición final que generan los impactos ambientales más importantes sobre el medio ambiente.

Durante la operación los residuos son dispuestos sobre el suelo y en algunos casos, muy próximos a los cuerpos de agua superficiales. Los residuos dispuestos están compuestos de residuos sólidos urbanos (residenciales, comerciales, institucionales, barrido de calles, etc) principalmente y dependiendo de las actividades socioeconómicas del municipio generador, éstos pueden estar conformados también de residuos hospitalarios, industriales, lodos y escombros.

Los rellenos sanitarios generan impactos potenciales sobre el medio ambiente caracterizados por la contaminación de las fuentes de aguas superficiales próximas con basuras y lixiviados, contaminación de aguas subterráneas, deterioro y cambio en el uso del suelo, deterioro del paisaje, contaminación del aire por gases y olores, proliferación de vectores (animales transmisores de enfermedad) y afectación de comunidades vecinas.

Una de las actividades que puede causar impactos significativos sobre el ambiente se encuentra la disposición de los residuos sólidos, en virtud de las características físico-químicas y bacteriológicas de sus componentes y de los procesos que se desarrollan durante el proceso de degradación. En la **Tabla 4-3** se citan los posibles efectos sobre el ambiente que pueden ser causados por los residuos sólidos en sitios de disposición de residuos sólidos. De dicha tabla se destaca que un apropiado control sobre la disposición de los residuos y sobre el sitio una vez ha sido clausurado permite minimizar los efectos que se puedan causar sobre el medio ambiente.

**Tabla 4-3. Principales efectos ambientales asociados a los residuos sólidos**

EFECTO AMBIENTAL	DESCRIPCION
Impacto sobre la salud pública	<p>Se genera por la presencia de desechos infecciosos (p.e. excrementos de animales, desechos hospitalarios, sustancias tóxicas (p.e. insecticidas, metales pesados, disolventes, pinturas, drogas vencidas, etc).</p> <p>Igualmente el impacto obedece a que los residuos sirven de medio de reproducción de vectores de enfermedad, tales como moscas, mosquitos, aves y ratas ó animales domésticos que se alimentan de los mismos y que se localizan en la cadena alimenticia donde se encuentra el hombre. Las moscas son transmisoras de enfermedades tales como la disentería vacilar y amebiana y las diarreas. Los mosquitos en su forma adulta pueden transmitir enfermedades como la filariasis, la fiebre amarilla, el dengue y la malaria. Las ratas son fuentes de enfermedades como el tifo murino, la leptospirosis y la histoplasmosis, entre otras.</p>
Impactos sobre la seguridad personal	<p>Se derivan de la posibilidad de explosiones, fuegos incontrolados y para las personas que manipulan los residuos problemas como contusiones, cortadas, pinchazos, quemaduras e infecciones respiratorias, entre otras.</p>
Impactos sobre la calidad del aire	<p>Se deriva de la generación de olores y gases. La presencia de olores está asociada con las emanaciones de sustancias volátiles y con la putrefacción de los componentes degradables de los residuos. Los gases se generan principalmente por la descomposición anaeróbica de los residuos y están compuestos principalmente de metano (gas de invernadero), CO<sub>2</sub> y otros.</p>
Impactos sobre la calidad de cuerpos de agua superficial	<p>Ocurre como consecuencia de las prácticas de disposición inadecuada de los residuos directamente en los cuerpos de agua. En sitios de botaderos a cielo abierto los residuos son lavados por el agua lluvia, generando lixiviados (liquido altamente contaminante) que es drenado hacia los cuerpos de agua. Igualmente en rellenos sanitarios desprovistos de sistema de manejo y tratamiento de lixiviados eficiente, generan sobre los cuerpos de agua un impacto equivalente al de botaderos a cielo abierto.</p>
Impactos sobre la calidad de las aguas subsuperficiales	<p>Botaderos a cielo abierto y rellenos sanitarios mal ubicados y/o con sistemas de impermeabilización ineficiente, hacen que los lixiviados generados por el escurrimiento de la humedad de los residuos y por el lavado del agua lluvia, se infiltren hasta capas inferiores del suelo y entre en contacto con el agua subsuperficial causando su deterioro y restricciones en su aprovechamiento.</p>
Contaminación visual	<p>Se origina por la disposición inapropiada de los residuos sólidos a través de botaderos o rellenos sanitarios en donde las adecuaciones del terreno carecen de manejo técnico de materiales de excavación, de manejo de taludes, control de procesos erosivos y adecuación geomorfológica y paisajística. El deterioro de las condiciones estéticas y paisajísticas, causa consecuencias económicas debido a la pérdida de la imagen de los entes responsables y desvalorización de la tierra.</p>
Sociales	<p>Cambio en el uso y en valor de la tierra. Deterioro de la calidad de vida para las personas que se dedican al reciclaje en sitios de botaderos.</p>

Fuente: Adaptado por los autores de: "Guía del Ministerio del medio Ambiente y Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous". 1996.

**Tabla 4-4. Impactos ambientales asociados a rellenos sanitarios**

CARACTERÍSTICA	DEFINICIÓN	IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS ASOCIADOS	IMPACTOS AMBIENTALES POSITIVOS ASOCIADOS
ASENTAMIENTOS	Corresponde a una disminución, con el transcurso del tiempo, de la altura de la masa afectada y la posterior reducción de la elevación de la superficie del relleno sanitario. La tasa y magnitud del asentamiento no es uniforme en función del tiempo ni de la ubicación dentro del relleno sanitario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inestabilidad en el relleno sanitario.</li> <li>• Apozamiento de aguas lluvia en la cobertura final.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se realiza control de asentamientos facilita el manejo de aguas y evita infiltración.</li> </ul>
CAPACIDAD PORTANTE	Habilidad de apoyar fundaciones y equipo pesado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando la capacidad portante es baja, disminuye la resistencia para apoyar, además se generarían procesos de inestabilidad.</li> <li>• Cuando la capacidad portante es baja se puede generar apozamientos en la cobertura final que aumentan posibilidad de infiltración de aguas lluvia en el relleno sanitario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si la capa de cobertura final es 1.5 veces el ancho de la fundación de las estructuras que se deseen construir, la capacidad portante del suelo aumenta la resistencia del suelo y evita problemas de fisuras en las estructuras inestabilidades.</li> </ul>
NIVELACIÓN FINAL	Proceso de contornear el terreno, posterior al cerramiento del relleno sanitario.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si no se realiza la nivelación se pueden originar apozamientos y posible infiltración al relleno sanitario.</li> <li>• Se puede originar erosión.</li> <li>• Inestabilidad de los taludes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La acertada nivelación de la capa final evita los apozamientos y facilita la conducción normal de aguas de escorrentía.</li> <li>• La acertada nivelación evita la erosión.</li> <li>• La acertada nivelación evita los procesos de remoción en masa de los taludes.</li> </ul>

CARACTERÍSTICA	DEFINICIÓN	IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS ASOCIADOS	IMPACTOS AMBIENTALES POSITIVOS ASOCIADOS
COBERTURA FINAL	Se usa para limitar el flujo de agua del relleno sanitario.	<p>Si la cobertura final no existe o no se encuentra nivelada genera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apozamientos.</li> <li>• Aumenta la generación de lixiviados.</li> <li>• Erosión.</li> <li>• Inestabilidades.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limita la generación de lixiviado.</li> <li>• Evita contaminación potencial de aguas subterráneas.</li> <li>• Reduce tiempo y gasto relacionado con el mantenimiento.</li> <li>• Promueve el uso productivo del relleno sanitario clausurado y de su entorno.</li> <li>• Minimiza la generación de vectores.</li> <li>• Sirve para controlar los vectores.</li> <li>• Control de erosión.</li> </ul>
LIXIVIADOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación de aguas subterráneas y superficiales si el manejo no es adecuado.</li> <li>• Generación de olores.</li> <li>• Generación de lodos contaminados.</li> <li>• Generación de vectores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se realiza recirculación adecuada de lixiviados se puede lograr: mejorar la degradación de los residuos orgánicos, Reincorporación del agua proveniente de los lixiviados a los procesos productivos o ciclo normal del agua.</li> </ul>
GAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• La migración incontrolada de gas puede generar: Acumulación de gases dentro del relleno sanitario que conducen a una explosión potencial</li> <li>• Disminución de capa de ozono.</li> <li>• Afectación por olores de gas nocivo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprovechamiento del gas como combustible para la generación de energía.</li> </ul>

Fuente: Adaptado por los autores de: "Guía del Ministerio del medio Ambiente y Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous".

### 4.3 ESTABILIZACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO

Una vez los residuos sólidos son dispuestos en un relleno sanitario se inician procesos de transformación físico-química y biológica que incluyen los siguientes:

- Cambios en la composición física y química de las basuras debido a transformaciones en sus componentes orgánicos biodegradables en biogás.
- Arrastre de sustancias, compuestos y materiales finos y solubles por el lixiviado.
- Reacciones químicas de los componentes de los residuos entre sí y los lixiviados con los residuos.
- Asentamientos de la masa del relleno.

Cuando estos procesos ya no se desarrollan en los residuos sólidos o se presentan en baja proporción, se establece que se ha alcanzado la ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS. Numerosos estudios han sugerido que la estabilización de los residuos se produce en 5 fases secuenciales y distintas, las cuales comprenden las siguientes (Ref 8) (**Figura 4.1**).

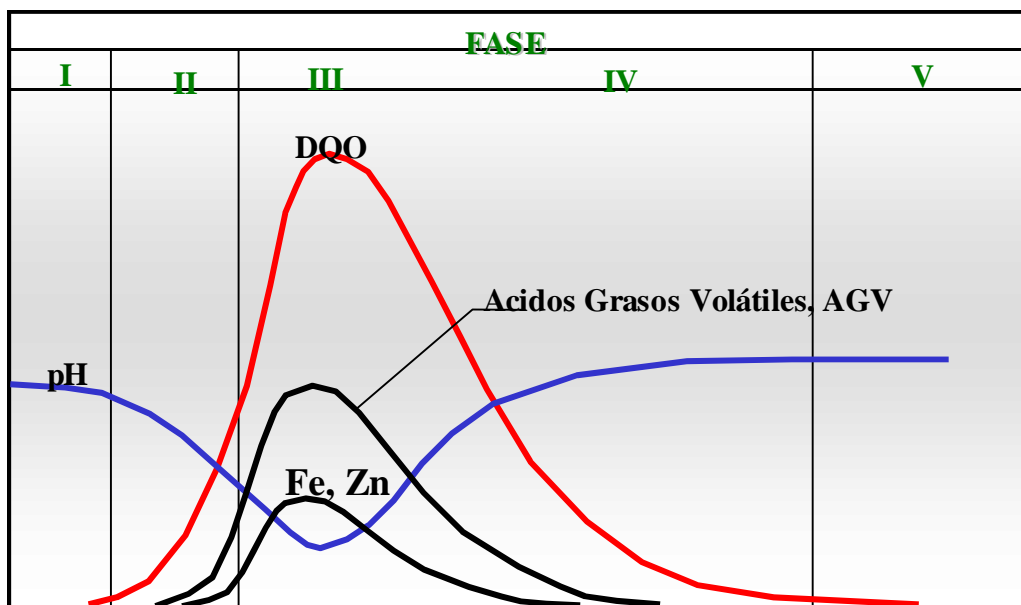
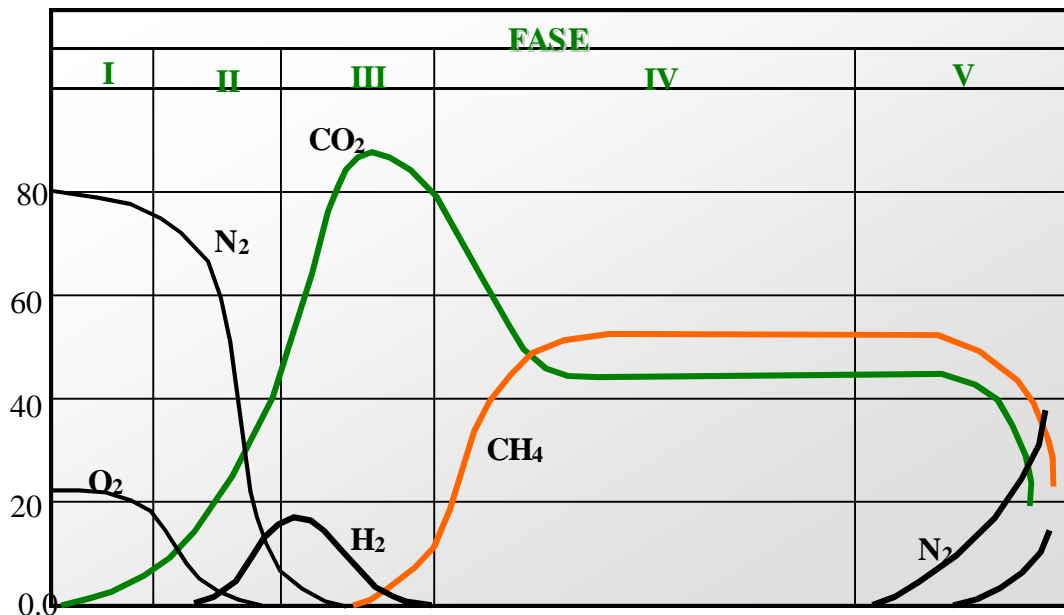
**Fase 1: Ajuste Inicial.** Esta etapa se desarrolla inmediatamente después de que los residuos sólidos son dispuestos en el relleno sanitario. Aquí se produce la descomposición biológica de los residuos bajo condiciones aerobias, debido al aire que queda atrapado dentro del relleno, durante la disposición de los residuos.

**Fase 2: Transición.** En esta etapa se disminuye el oxígeno disponible dentro de los residuos y se desarrollan condiciones anaerobias, por lo cual el nitrato y el sulfato sustituyen al oxígeno como aceptores de electrones en la respiración de los microorganismos. Hacia el final de esta fase ocurre una disminución de pH debido a la formación de ácidos orgánicos (especialmente ácidos grasos volátiles, AGV), lo cual puede detectarse en el lixiviado. De otra parte se detecta un aumento en las concentraciones de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub> dentro del relleno.

**Fase 3: Formación de ácido.** Se incrementa la actividad biológica, iniciada en la etapa anterior con una mayor producción de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas hidrógeno. En esta etapa el primer paso implica el proceso de hidrólisis (solubilización) en el que existe el desdoblamiento de compuestos orgánicos de alto peso molecular (lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuentes de energía y carbono celular. El segundo paso (acidogénesis) implica la conversión de los productos intermedios de bajo peso molecular en ácidos principalmente el ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH). El CO<sub>2</sub> es el principal gas generado en esta fase.

El pH del lixiviado disminuye por debajo de 5.0, debido a la presencia de ácidos orgánicos y por elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> dentro del relleno. La DBO<sub>5</sub>, DQO y conductividad se verán incrementadas en virtud de la solución de los componentes orgánicos en el lixiviado. Además se podrán observar en el lixiviado concentraciones importantes de metales pesados, debido a las condiciones favorables que se presentan con un bajo pH.

Figura 4.1. Características de gases y lixiviados con las fases de estabilización de los residuos sólidos



**Fase 4: Fermentación del Metano.** En esta etapa se activa otro grupo de microorganismos que convierten el ácido acético e hidrógeno producidos en la etapa anterior en gases tales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). El pH se incrementa a valores próximos a la neutralidad y es controlado por el bicarbonato que actúa como buffer, lo cual favorece el crecimiento estable de las bacterias formadoras de metano. El sulfato es reducido a sulfito. Los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO disminuyen como resultado de la conversión de la materia orgánica biodegradable a unas tasas mayores. Los metales pesados presentan concentraciones menores debido a su remoción por efecto de precipitación y transporte a la fase sólida de los residuos, por efecto del incremento en el pH, respecto a la fase anterior.

**Fase 5: Fase de Maduración.** Corresponde a la última etapa de estabilización del relleno. En esta etapa los nutrientes y sustrato disponibles son menores en virtud de la conversión de la energía ocurrida en las etapas anteriores, por lo cual se tiene una actividad biológica más baja y una velocidad mas baja en la generación de gas (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente).

La tasa y características del lixiviado y del biogás en un relleno sanitario varía de una fase a otra, las cuales a su vez reflejan el proceso que tiene lugar dentro del relleno. En la **Tabla 4-5** se presenta la composición típica de lixiviados para cada una de las fases, para el caso de un relleno sanitario convencional y un relleno sanitario provisto con recirculación de lixiviados.

**Tabla 4-5. Composición de lixiviado en cada fase de estabilización del relleno sanitario**

PARAMETRO	FASE DE ESTABILIZACION			
	FASE 2 TRANSICION	FASE 3 FORMACION DE ACIDO	FASE 4 FERMENTACION	FASE 5 MADURACION
DBO <sub>5</sub> (mg/l O <sub>2</sub> )	100-1,000	1,000 - 57,700	600 – 3,400	4 - 120
DQO (mg/l O <sub>2</sub> )	480-18,000	1,500 – 71,000	580 – 9,760	31 – 900
DBO <sub>5</sub> /DQO	0.23 - 0.87	0.4 – 0.8	0.17 – 0.64	0.02 – 0.13
Amonio, (mg N/l)	120-125	2 – 1,030	6 - 430	6 - 430
pH, (Unidades)	6.7	4.7 - 7.7	6.3 – 8.8	7.1 – 8.8
Conductividad, (umhos/cm)	2,450-3,300	1,600 – 17,100	2,900 – 7,700	1,400 – 4,500

Fuente: "Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous". 1996.

La duración de cada fase varía dependiendo de la composición físico-química de los residuos, su distribución dentro del relleno sanitario, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad de los residuos, el paso de humedad por el relleno y el grado de compactación inicial (1).

Algunos autores tales como Pohland y Hapter (1986) señalan que la duración de las tres primeras fases es de 200 días (0.55 años), a partir del cual se desarrolla la fase 4 (formación de metano) la cual se extiende hasta el día 600 (1.64 años) (2). De otra parte Merz y Stone (1970) señalan que la fase 4 se logra después de los 12 a 18 meses (1.0 a 1.5 años) (1). Reinhart (2) cita una prueba de laboratorio desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en el Instituto de Tecnología de Georgia (Estados Unidos), en

la que se estudió el tiempo de duración de cada fase, logró establecer que la fase 5, ocurre alrededor del día 720 (1.97 años).

Lo anterior indica que para todos los casos, el inicio de la fase 5, se puede desarrollar de 0.5 a 2.0 años dependiendo de las condiciones que se dan en cada relleno, asociados al tipo de residuos, contenido de humedad, disponibilidad de nutrientes, grado de compactación del relleno y condiciones ambientales (humedad y temperatura).

La estabilización total de los residuos es considerada cuando las tasas de generación de gas o las cargas orgánicas de lixiviado son bajas. Uno de los criterios que se pueden considerar es cuando mas del 95% del gas ha sido producido ó cuando la tasa de producción de gas es menor del 10% que la tasa máxima de producción de gas (2). Otro criterio considerado para la estabilización de los residuos es cuando la DQO generada en el lixiviado es menor a 1,000 mg/l O<sub>2</sub> y la DBO<sub>5</sub> es menor a 100 mg/l O<sub>2</sub> o cuando la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es menor a 0.10 (2).

#### 4.4 CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE GASES

Como se indicó anteriormente, el producto de la degradación del componente orgánico de los residuos sólidos es la generación de gases. La tasa de producción de gases depende de la composición de los residuos, el contenido de humedad, la edad del relleno, condiciones climáticas (principalmente temperatura y precipitación). En la **Tabla 4-6** se presenta la composición típica del biogas generado en un relleno sanitario. De esta tabla se puede establecer que el CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> son los principales gases generados por la degradación de los residuos sólidos por lo que son los mas comúnmente encontrados en un relleno sanitario.

**Tabla 4-6. Características típicas del biogas generado en un relleno sanitario**

COMPOSICIÓN	CONCENTRACION ( % base seca)
Metano	45 a 60
Dióxido de carbono	40 A 60
Nitrógeno	2 a 5
Oxígeno	0.1 a 1.0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0.0 a 1.0
Amoniaco	0.1 a 1.0
Hidrógeno	0.0 a 0.2
Monóxido de carbono	0.0 a 0.2
Trazas	0.01 a 02.6
CARACTERISTICAS	VALOR
Temperatura	37 a 67 °C
Densidad específica	1.02 a 1.06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico, Kcal/m <sup>3</sup>	890 a 1,223.0

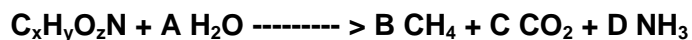
Fuente: "Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous 1996".

**Tabla 4-7. Fases de estabilización de residuos**

FASE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	GASES				LIXIVIADO	
			Oxígeno	CH <sub>4</sub>	Co <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	DBO, DQO, conductividad	PH
I	AJUSTE INICIAL	Los componentes orgánicos biodegradables de RSU, sufren descomposición microbiana, mientras se colocan en un relleno y poco después. Se desarrolla como aerobia.	Disminuye	Bajo contenido	Aumenta	Disminuye	Valores superiores a 10.000 mg/lts	Disminuye (si se produce lixiviado).
II	FASE DE TRANSICIÓN	Comienza a desarrollarse condiciones anaeróbicas.	Disminuye	Bajo contenido y aumenta	Aumenta	Disminuye	Alto	Si se forman lixiviado, el PH comienza a disminuir.
III	FASE ÁCIDA	Se acelera la actividad microbiana, con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno.	Ausencia	Bajo contenido	Es el principal gas generado Aumenta	Disminuye notoriamente	Aumento notorio	Disminuye hasta valores menores o iguales a 5.
IV	FASE FERMENTACIÓN DEL METANO	La formación de metano y ácido se producen simultáneamente, siendo la formación de ácido menor.	Ausente	Predomina	Disminuye y se estabiliza	Ausente	Disminuyen concentraciones	Aumenta a valores más neutros en el rango de 6,8 a 8.
V	FASE DE MADURACIÓN	Se produce después de convertirse el material inorgánico, biodegradable en metano CH <sub>4</sub> y CO <sub>2</sub> ; la velocidad de generación de gas del relleno disminuye significativamente.	Ausente	Disminuye	Disminuye	Aumenta	disminuye	Se estabiliza

Fuente: Adaptado por los autores de "Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous".

La estimación de la cantidad de biogas se basa en la siguiente ecuación química (Ref 1, p 436):



Para la determinación de la producción de gases existen diferentes metodología dentro de las cuales se destacan los modelo de palos verdes, Scheldon-Arleta, Lee, Jung & Kim, Pholand & Yousfi, Jimenez, Sholl Canyon, Tchobanoglous y el modelo de Tabasaran/Retterberger (**Figura 4.1**).

## 4.5 CLAUSURA Y POST CLAUSURA DE RELLENOS SANITARIOS

### 4.5.1 Definiciones

La clausura se define como el momento en que el sitio de disposición ha completado su capacidad y se ha dejado de recibir los residuos sólidos. En virtud de las características de los residuos, éstos continúan su degradación durante muchos años después de la clausura, periodo durante el cual se generan gases y lixiviados que pueden ofrecer problemas para el ambiente y limitar el uso posterior del predio. Por lo anterior, se destaca la importancia de realizar un plan de clausura y post-clausura.

El plan de clausura comprende aquellas acciones encaminadas a preparar el sitio para que los procesos que en el relleno ocurran, se realicen en forma controlada.

El plan de post-clausura comprende el mantenimiento, el seguimiento y operación de los sistemas de control hasta que el relleno sanitario pueda recibir un uso posterior.

### 4.5.2 Acciones

Ambientalmente se hace necesario implementar un plan de clausura y postclausura lo que implica la realización de obras y acciones específicamente orientadas a controlar los impactos causados sobre el medio ambiente.

#### 4.5.2.1 Objetivos

En general un plan de clausura y postclausura normalmente está orientado a cumplir con los siguientes objetivos:

1. Controlar la producción de gases y lixiviados.
2. Extraer los gases y lixiviados en forma controlada.
3. Monitorear los posibles efectos que pueda causar el sitio de relleno sobre el ambiente y formular medidas para su control.

4. Monitorear la estabilidad biológica y geotécnica del relleno para determinar el momento en que el predio pueda recibir un nuevo uso.

#### **4.5.2.2 Etapas**

El plan de clausura comprende el desarrollo de las siguientes etapas:

- Elaborar un diagnóstico sobre el estado actual del relleno sanitario. Esta etapa va orientada a definir la magnitud del problema como etapa preliminar al planteamiento de las soluciones.
- Caracterizar el componente físico y socioeconómico en el área de influencia del relleno sanitario, como base para establecer los impactos sobre el medio ambiente. La caracterización es la base para la identificación y evaluación de impactos y consecuentemente la formulación de acciones para mitigación y control. Incluye Caracterización de los suelos de fundación y evaluación de la contaminación de las aguas subterráneas (Estudio geológico/hidrogeológico y geotécnico).
- Evaluación de los impactos ambientales tales como contaminación de los cuerpos de agua próximos, por residuos, lixiviados y aguas de escorrentía; contaminación del aire por gases y olores; contaminación de suelos; contaminación del agua subterránea; impactos sociales (recicladores).

#### **4.5.2.3 Plan de manejo para la clausura y postclausura**

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico y evaluación ambiental del relleno se procederá a realizar el diseño de las acciones y obras requeridas para controlar y/o mitigar los impactos detectados y así, poder clausurar adecuadamente el relleno sanitario. El plan de manejo puede cubrir las siguientes acciones, las cuales dependerán de las condiciones particulares del relleno.

El plan de manejo incluye las siguientes obras y acciones:

- Cerramiento perimetral.
- Construcción de obras de drenaje superficial para el manejo de agua lluvia.
- Sistemas de captación y tratamiento de lixiviados.
- Adecuación geomorfológica y paisajística.
- Diques de contención para control de aguas superficiales y estabilidad del sitio.
- Sistemas de captación y evacuación de gases: construcción de sistemas activos o pasivos de extracción y disposición de gases para evitar su acumulación en el interior del relleno y prevenir el riesgo de explosión.
- Cobertura final (que permitan reducir la percolación de agua lluvia al interior del relleno) y empedradización.

- Piezómetros para el monitoreo del agua subsuperficial.
- Programa de monitoreo técnico y ambiental: incorporación de sistemas para el monitoreo de aguas subterráneas, lixiviados y calidad del aire.
- Señalización.
- Programa de gestión social (en caso de que existan recicladores en el sitio).
- Realización de rellenos en zonas de asentamiento para mejorar las condiciones de drenaje y prevenir la oportunidad de percolación del agua lluvia.
- Incorporación de una cubierta vegetal y reforestación para mejorar las condiciones paisajísticas.
- Otras obras que permitan controlar los impactos que puedan ser detectados a través de los sistemas de monitoreo.

#### 4.5.2.4 Plan de Monitoreo y Seguimiento (Postclausura)

Una vez realizada la respectiva clausura, después del cierre se debe realizar un seguimiento a la calidad ambiental de sus áreas de influencia, evaluando cada una de las variables que dentro del diagnóstico, se detectaron como afectadas por la ubicación y operación de éstos. Dentro de las variables que se consideraran, están las siguientes:

- Calidad de las aguas superficiales.
- Calidad de las aguas subsuperficiales.
- Calidad de los suelos.
- Situación socioeconómica de las personas dependientes del relleno.
- Situación de los habitantes ubicados en áreas aledañas.

#### 4.5.2.5 Acciones según RAS 2.000 en la etapa de post-clausura

A continuación se establecen los parámetros que se deben tener en cuenta en la etapa de post-clausura de un relleno sanitario según el reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS. 2000.

Las actividades de mantenimiento de posclausura deben incluir las siguientes actividades:

- **Mantenimiento de la integridad de la cobertura y control de erosión.** El control de erosión incluye mantenimiento rutinario de la vegetación, reparación de los efectos de la subsidencia, control de aguas de infiltración y de escorrentía.
- **Monitoreo de la producción de lixiviados.** Deben tenerse registros semanales de medición de caudales. Disminuciones excesivas de los caudales de lixiviado con respecto a la tendencia observada deben investigarse cuidadosamente para determinar su causa. En caso de obedecer a una obstrucción del sistema de drenaje debe tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación de líquidos dentro del relleno. El programa de monitoreo y control de biogás y

lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario se han estabilizado, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo son controlados.

- Inspección del sistema de venteo de gas y reparación inmediata en caso de daños.
- Monitoreo de aguas subterráneas. Debe constituirse en una rutina básica.
- El cierre del relleno sanitario al final su vida útil, debe diseñarse tomando en cuenta su conformación final, estabilidad de taludes, mantenimiento, monitoreo y control de contaminantes, así como su uso último.
- La forma final a dar a los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario debe contemplar las restricciones relacionadas con el uso último que se dará al sitio, estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cubierta final y drenajes superficiales.
- El diseño de cierre del relleno sanitario debe incluir el uso final del sitio, es decir, el aprovechamiento del sitio una vez concluida su vida útil. Dicho diseño debe estar acorde con el uso del suelo permitido.

**Tabla 4-8. Acciones clausura de rellenos sanitarios**

ACCIONES	ACTIVIDADES	CARACTERÍSTICAS
Planeación	Estudios hidrogeológicos.	Relación entre el relleno sanitario y la hidrogeología, efectos en la calidad de agua subterránea.
	Determinar conformación final del sitio.	Topografía final del sitio.
	Diseño final de cobertura.	Planos, especificaciones de la construcción.
	Identificación de fuentes de material de cobertura final.	Materiales arcillosos o sintéticos de acuerdo al sitio.
	Diseño paisajístico final.	Planos específicos y detalles.
	Diseño de programa preparatorio de nivelación.	Requisitos de contorno del relleno y nivelación para la posterior colocación de la cobertura final.
	Cierre por etapas de áreas específicas dentro del relleno.	Este concepto no aplica para relleno sanitarios pequeños donde el cierre es inmediato.
	Diseño y manejo del control de aguas superficiales.	Diseño de sistemas superficiales de drenaje, Control de erosión, Control de sedimentación.
	Diseño para el control de la contaminación de aguas subterráneas.	Disminución del nivel freático natural y flujo de aguas subterráneas.
	Diseño del manejo del control de lixiviado.	
	Diseño del manejo del control del gas del relleno sanitario.	
Actividades de preclausura (3 meses antes del cierre)	Calculo de costos para Construcción y atención postclausura.	Operación, mantenimiento y control a largo plazo.
	Repaso y refinamiento del plan de cierre.	Para la integridad del sistema de disposición final de residuos.
	Determinación de fecha y hora de cierre.	
	Notificación a la autoridad ambiental y entes reguladores.	
Durante el proceso de clausura	Establecer canales de notificación a usuarios del relleno.	
	Impedir la entrada de vehículos para el descargue de residuos.	
	Anunciar el cierre y el nuevo sitio de disposición final de residuos.	Señales en la entrada del relleno: indicados con avisos de seguridad.
	Recolectar residuos y disponerlo apropiadamente en celdas.	
En la postclausura (3 meses después del cierre)	Emplazar cobertura sobre las celdas con residuos expuestos.	
	Completar el sistema de drenaje de aguas de escorrentía.	
	Completar el sistema para el manejo y control de lixiviados y gases.	
	Construir estructuras para el monitoreo de aguas subterráneas.	
	Instalar instrumentación para determinar y monitorear	Asentamientos, Sobrepresiones, Deslizamientos, Desplazamientos.
	Instalar cobertura final de residuos.	
Establecer la cobertura final y revegetalización de la zona.		

Fuente: Adaptado por los autores de: "Guía del Ministerio del Medio Ambiente y Gestión integral de residuos sólidos Tchobanoglous".

## 5. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Actualmente las Facilidades de manejo de residuos sólidos de campo Cupiagua (FMRS-CUP) donde se localiza el relleno sanitario no se encuentra operando. Los residuos generados actualmente en el campo Cupiagua son transportados a las FMRS del municipio de Tauramena, junto con los del campo Cusiana, para su tratamiento y disposición final. Los residuos sólidos incluyen residuos orgánicos y materiales reciclables ya que los residuos industriales incinerables son transportados a una planta de incineración localizada fuera del campo.

### 5.1 ANTECEDENTES

#### 5.1.1 Antecedentes del relleno

La compañía BP opera en los campos de Cusiana, Cupiagua y Piedemonte en el departamento del Casanare (Colombia), debido a sus ejercicios generan residuos sólidos de tipo industrial y doméstico; en 1995 se realizó el diseño de las facilidades de manejo de residuos sólidos de Cupiagua (FMRS-CUP) que inició su operación en junio de 1998.

En el año 2000, BP adelanto un estudio técnico y económico de alternativas para el manejo de residuos en el Casanare, siendo una de las conclusiones el cierre de FMRS-CUP, el cual obedeció a las siguientes razones:

- Dificultad en la supervisión de las operaciones bajo los estándares de calidad de la compañía, debido a problemas de orden público.
- Las FMRS-CUS cuentan con la infraestructura y capacidad suficiente para atender la totalidad de los residuos generados en los campos que opera BP en el Casanare.
- La opción de operar únicamente las FMRS-CUS representa una optimización de costos en el manejo integral de los residuos sólidos.

En enero de 2.000 se clausuró el relleno sanitario de Cupiagua, para ello se realizó un plan de clausura y postclausura, encaminado a definir las acciones de cierre y las posteriores al cierre, de tal manera que se minimicen los impactos sobre el medio ambiente. La compañía BP estaba interesada en realizar un Diagnostico Ambiental del relleno sanitario del CPF de Cupiagua en su etapa de POSTCLAUSURA, el cual se convirtió en el tema de este estudio, que involucra parámetros de monitoreo, seguimiento, verificación de condiciones ambientales, análisis sobre el cumplimiento de la licencia ambiental temporal, recomendaciones de medidas de mitigación y uso futuro del relleno sanitario.

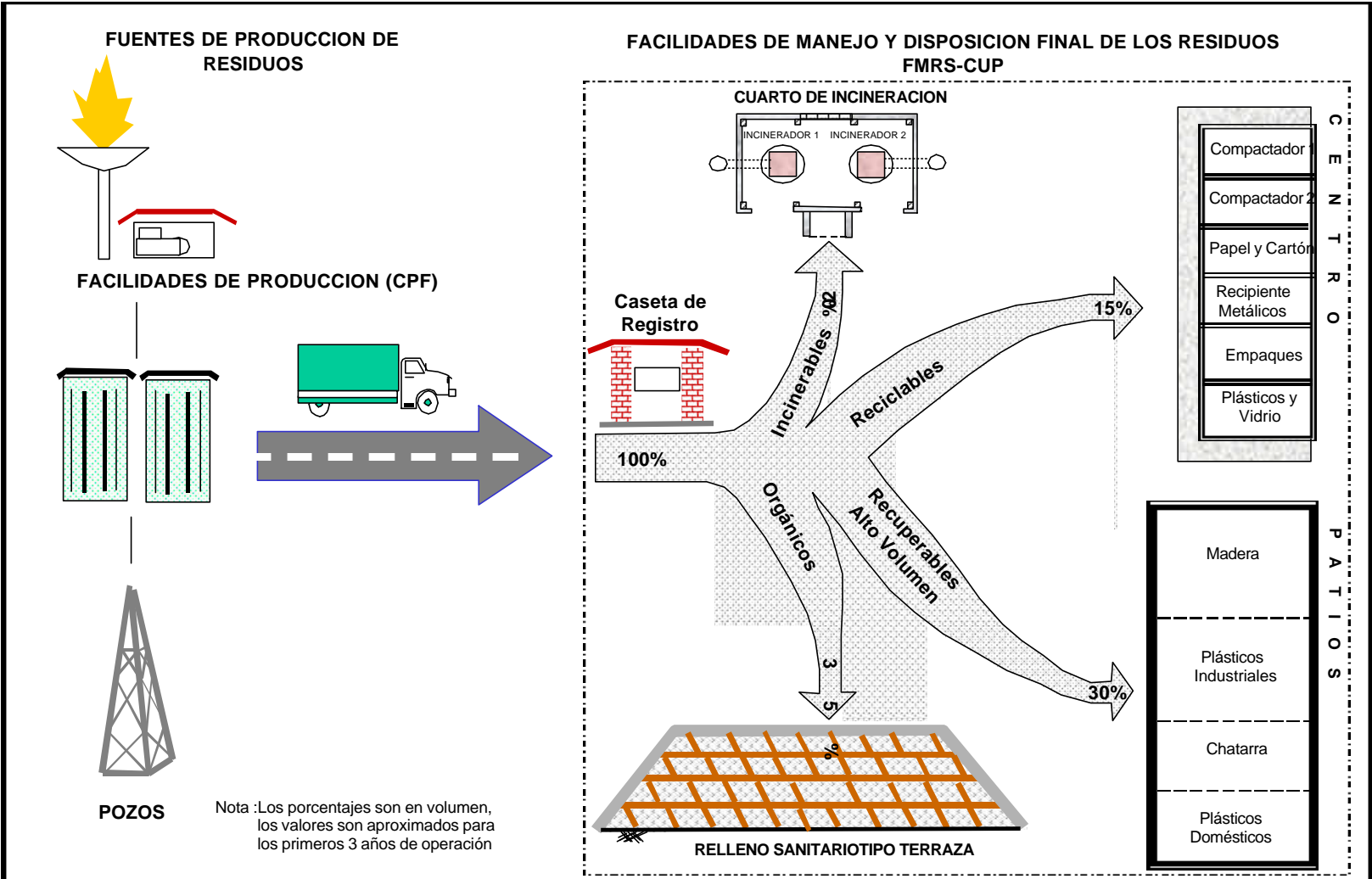
Las FRMS-CUP cuentan con las siguientes instalaciones y áreas:

- Centro almacenamiento y clasificación de materiales reciclables de bajo volumen:
- Zona de incineración de residuos.
- Zona de disposición final en el relleno sanitario.
- Zona de disposición final de cenizas (celda en concreto).
- Area de almacenamiento y explotación de material de cobertura
- Caseta de vigilancia

Las FMRS-CUP fueron diseñadas con bodegas de acopio para el almacenamiento temporal de materiales reciclables, cuarto de incineración para residuos de centros de salud y algunos residuos industriales y relleno sanitario tipo terraza para los residuos orgánicos. (**Figura 5.1**, tomada de GEOTEC INGENIERIA).

En la **Tabla 5-1** se presentan los parámetros básicos de operación de las FMRS-CUP diseñadas por Hidromecánicas Ltda. El diseño contemplaba el desarrollo del proyecto en tres etapas, siendo la primera etapa la adecuación inicial, la cual fue desarrollada parcialmente por el proyecto. Durante la adecuación inicial en el año 1,998 se adelantaron las siguientes obras:

- Adecuación de la vía de acceso desde la vía Marginal del Llano hasta el sitio del relleno.
- Adecuación de vía interna.
- Construcción de cerramiento del predio.
- Adecuación del terreno en la Etapa I del relleno Sanitario.
- Movimientos de tierra y preparación del terreno.
- Drenes para el control de aguas subsuperficiales.
- Construcción del sistema de Impermeabilización de fondo.
- Sistema de drenaje, recolección, almacenamiento y bombeo de lixiviados.
- Canales perimetrales de aguas lluvias.
- Construcción de patio de maniobras en afirmado.
- Construcción de oficinas administrativas (3 con dos baños y 2 duchas).
- Construcción de cuartos de almacenamiento de materiales reciclables (6).
- Construcción de cuarto e instalación de dos Incineradores (con sistema de control de emisiones atmosféricas, mediante multiciclones).
- Construcción de dos piscinas para el manejo de lixiviados.
- Construcción estación de bombeo y reinyección de lixiviados.



**TÍTULO:**  
Sistema de Manejo de los Residuos Sólidos en el Campo Cupigagua

**PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA FMRS-CUPIAGUA**

**FIGURA:**  
5.1

**FECHA:**  
Oct- 2,001

**Tabla 5-1. Especificaciones técnicas de las FMRS-CUPIAGUA**

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Nombre del operador	SERINGCA Ltda.
Fecha de inicio de operación	Junio de 1,998
Capacidad planta	10.3 t/d
Carga de operación (Jul-2001)	3.85 t/d
Extensión total predio	5.5 Has
Extensión útil proyecto:	2.6 Has
Manejo de reciclables	Almacenamiento de reciclables en centro de reciclables (6 cuartos) Embalaje de cartón Embalaje de metales Almacenamiento en patios de reciclajes de gran volumen en patios
Manejo de orgánicos	Tipo de Relleno : Llenado por Terrazas Vida Util : 20 Años Etapas : 3 Altura de nivel : 1.15 m (0.15 cobertura intermedia)
	Etapa 1 : Año 0 al Año 2.7 Area 2,507 m <sup>2</sup> (en la base) 4 Niveles Altura de relleno 4.60 m.
	Etapa 2 : Año 2.7 al Año 8.5 Duración de 5.8 años Area 8,217 m <sup>2</sup> ( Base ) 5 Niveles (Nivel 5 a 9) Altura de relleno 5.75 m.
	Etapa 3 : Año 8.5 al Año 20 Duración de 11.5 años Area 10,205 m <sup>2</sup> ( Base ) 9 Niveles Altura de relleno 10.35 m.
Incineración	Numero de equipos : 2 Unidades Capacidad : 500 Lb/hr cada uno

(a) Fuente: Hidromecánicas Ltda. 1995.

- Construcción de tanque para la disposición final de cenizas provenientes del incinerador.
- Conformación de un área para el almacenamiento de material de descapote y excavación.
- Construcción tanque séptico y planta de láminas filtrantes para el manejo de las aguas residuales domésticas.
- Piezómetros perimetrales (12).
- Construcción de sistema de manejo de aguas lluvias con su entrega a cuerpo de agua.
- Instalaciones eléctricas.

El Relleno Sanitario se construiría en tres etapas: una primera etapa localizada en la parte nor - oriental del lote, cuya terraza es más baja que la segunda etapa, abarcando un área

menor que las demás zonas. Una segunda etapa contigua a la primera y que conforma un área mayor. Por último la tercera etapa adyacente a las dos primeras etapas, desarrollándose en un área mayor que las otras etapas (las etapas dos y tres no se construyeron). Estas tres etapas admiten una disposición continua de residuos durante 20 años como mínimo. En el relleno fue desarrollado únicamente el Nivel 1 de la Etapa 1, correspondiente al 7.5% del tiempo inicialmente previsto en el diseño de 20 años y al 21% del área inicialmente proyectada a intervenir (21,000 m<sup>2</sup> en tres etapas) (**Figura 5.2**, tomado de GEOTEC INGENIERIA).

### 5.1.2 Carga de disposición en t/a durante toda la vida útil del proyecto

Durante su operación el relleno sanitario no contaba con sistema de pesaje, por lo cual no se conoce con certeza la cantidad de residuos sólidos dispuestos; sin embargo, para efectos del presente estudio, la cantidad de residuos dispuestos fue estimada a partir del volumen del relleno construido.

El relleno sanitario fue desarrollado únicamente en el nivel 1 de la etapa 1, correspondiente a un área de 4,440 m<sup>2</sup>. De acuerdo con los diseños, la altura de los niveles del relleno para esta etapa eran 1.15 m, con un espesor de cobertura diaria de 0.15 m. De esta manera el volumen total de relleno se estima en 5,106 m<sup>3</sup>. Para una relación de cobertura de 1.31 y una densidad de compactación de 0.50 t/m<sup>3</sup>, la cantidad de residuos dispuestos corresponde aproximadamente a 1,950 ton de residuos. Ya que el relleno operó durante el periodo Junio/98 a Enero/00 (19 meses), la carga promedio de disposición de residuos se estima en aproximadamente 3.37 t/d.

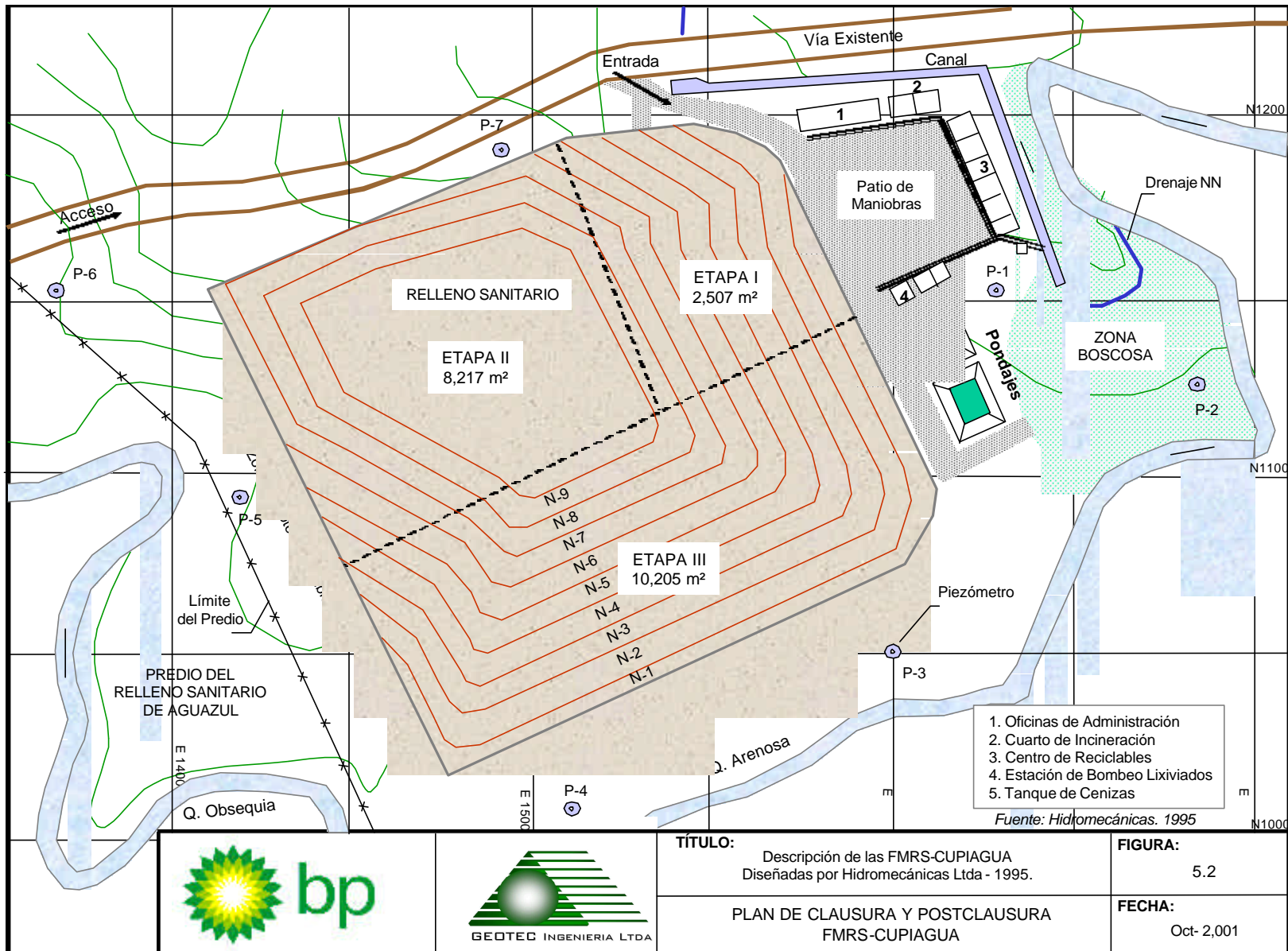
### 5.1.3 Estimación de la producción de biogás, relleno sanitario de Cupiagua

Como se indicó en el capítulo 4.3, durante la degradación de los residuos sólidos en el interior del relleno, se genera biogás, producto de los procesos de transformación biológica de la materia orgánica biodegradable presente en los residuos. La cantidad y calidad de los gases dependen fundamentalmente de la fase de estabilización en la cual esté, de esta manera, la composición del biogás es un indicador del nivel de estabilización biológica del relleno.

Una vez se ha agotado la cantidad de materia orgánica disponible para degradación se dice que el relleno se ha estabilizado. De esta manera, técnicamente se dice que cuando se genera el 95% del biogás, el relleno sanitario ya se encuentra estabilizado. En esta condición es de esperar que ya no se generen asentamientos significativos en la masa del relleno y que la calidad de lixiviado tenga un bajo poder contaminante en virtud de la baja disponibilidad de materia orgánica de los residuos.

En el presente estudio, se pretende realizar una estimación de la producción de biogas, orientado básicamente a estimar el nivel de estabilización biológica del relleno. Sin embargo, es de aclarar que la producción de biogás no es el único indicador de estabilización, pudiendo utilizarse otros parámetros tales como la calidad de los lixiviados e incluso los asentamientos del relleno.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Trabajo realizado con el apoyo del Ingeniero Wilson Casas. 2004.



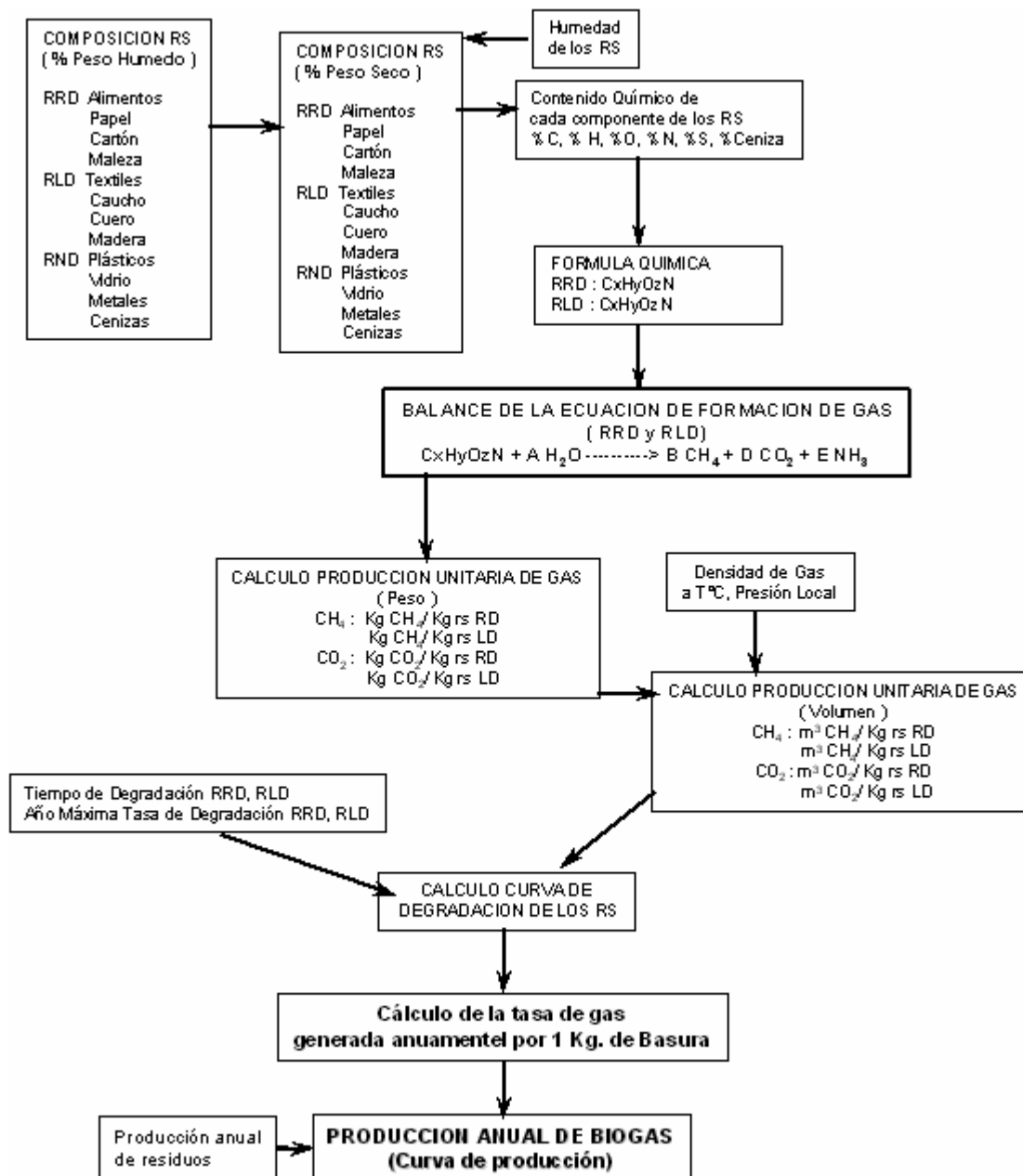
Para estimar la producción de biogás se realizó una estimación empleando la metodología propuesta por el profesor George Tchobanoglous, la cual fue tomada del libro “Gestión Integral de Residuos Sólidos” y adaptada para el caso del relleno sanitario de Cupiagua.

El objetivo es evaluar la producción de biogas del relleno sanitario de Cupiagua, a través de un modelo matemático con el fin de determinar el nivel de estabilización biológica del relleno.

La metodología parte del modelo propuesto por el profesor Tchobanoglous. Este modelo se basa en los siguientes supuestos:

- Toda la masa del relleno es homogénea, es decir la basura presenta una densidad constante en toda la masa del relleno y presenta espesores constantes en la capas de residuos y cobertura. (**Figura 5.3**).
- La composición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario es constante.
- La humedad de los residuos dispuestos mensualmente son constantes.
- Los residuos sólidos dispuestos se componen de residuos de rápida degradación (RRD) residuos de lenta degradación (RLD) y residuos no degradables o inertes (RND).
- Los RRD están compuestos por residuos de alimentos, papel, cartón y el 60% de residuos de jardín (material vegetal).
- Los RLD están compuestos por textiles, caucho, cuero, madera y 40% de los residuos de jardín (material vegetal).
- Los RND están compuestos de plásticos, vidrio, metales y cenizas.
- El 75% de los RRD y el 50% de los RLD están disponibles para degradación, en vista de que una fracción de los residuos no presenta condiciones de humedad suficientes como para que pueda soportar la actividad biológica o no son disgregados suficientemente durante su disposición (empacados en bolsas).
- El tiempo total de descomposición de los RRD es de 5 años y los RLD es de 15 años.
- La tasa de descomposición de los residuos presenta una forma triangular y los valores máximos para los RRD se presenta al final de año 1 y para los RLD al final del año 5.

**Figura 5.3 Metodología para estimar la producción de biogás**



Fuente: Adaptado por el autor. 2004.

Para determinar la producción de biogás para el relleno de Cupiagua, siguiendo la metodología de Tchobanoglous, se emplearon los siguientes pasos: (Figura 5.3).

1. Cálculo del peso seco de los diferentes componentes de los residuos sólidos, a partir de la composición física y química de los residuos sólidos.
2. Cálculo de la composición química de los residuos sólidos y Fórmula química, a partir de la composición física de los residuos.

3. Cálculo de las curvas producción de gas unitaria por cada Kg de RRD y RLD, siguiendo los supuestos del modelo utilizado.
4. Calculo de la producción anual de biogás a partir de la producción unitaria de biogás y de las tasas de disposición anual de residuos.

### A. COMPOSICION FISICA DE LOS RESIDUOS

Ya que el relleno fue clausurado en Enero de 2000 y no se dispuso de información directa sobre la composición física de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario de Cupiagua, se empleó la caracterización física típica de los residuos generados en el campo Cusiana y dispuestos en dicho relleno. Ya que en el campo Cusiana se siguen aproximadamente los mismos procesos de producción, se considera acertado emplear estos datos, como genéricos en general para las actividades de BP en el Casanare (Tabla 5-2).

**Tabla 5-2 Composición física de los residuos sólidos de BP en el Casanare**

N	COMPONENTE	COMPOSICION (%)
1	Residuos de alimentos	80.2
2	Papel	2.4
3	Cartón	1.4
4	Maleza	2.3
5	Textiles	2.1
6	Caucho	0.8
7	Cuero	0.7
8	Madera	0.9
9	Plásticos	2.9
10	Vidrio	1.3
11	Metales	1.1
12	Otros	3.9
<b>SUMA:</b>		<b>100%</b>

Fuente: *Evaluación de un relleno sanitario como reactor anaeróbico en el tratamiento de lixiviados.* W. Casas. 1998.

De la tabla anterior se observa que los residuos están compuestos por una fracción orgánica de mas del 80%, lo cual se debe a las labores de clasificación de materiales reciclables desde la fuente, los cuales son manejados en forma independiente. De esta manera, se observa una baja participación de dichos materiales dentro de los residuos dispuestos.

### B. CALCULO DEL PESO SECO DE LOS RESIDUOS

El cálculo del peso seco de cada uno de los componentes residuos sólidos (% en peso) fue determinado a partir de la humedad promedio típica de los componentes de los residuos, mediante la siguiente expresión:

Peso seco = Peso húmedo (1- % Humedad/100).

### C. CARGA DE DISPOSICION DE RESIDUOS

Durante su operación el relleno sanitario no contaba con sistema de pesaje, por lo cual no se conoce con certeza la cantidad de residuos sólidos dispuestos; sin embargo, para efectos del presente estudio, la cantidad de residuos dispuestos fue estimada a partir del volumen del relleno construido.

El relleno sanitario fue desarrollado únicamente en el nivel 1 de la etapa 1, correspondiente a un área de 4,440 m<sup>2</sup>. De acuerdo con los diseños, la altura de los niveles del relleno para esta etapa eran 1.15 m, con un espesor de cobertura diaria de 0.15 m. De esta manera el volumen total de relleno se estima en 5,106 m<sup>3</sup>. Para una relación de cobertura de 1.31 y una densidad de compactación de 0.50 t/m<sup>3</sup>, la cantidad de residuos dispuestos corresponde aproximadamente a 1,950 ton de residuos.

Ya que el relleno operó durante el periodo Junio/98 a Enero/00 (19 meses), la carga promedio de disposición de residuos se estima en aproximadamente 3.37 t/d.

### D. CALCULO DE LA COMPOSICION QUIMICA DE LOS RESIDUOS

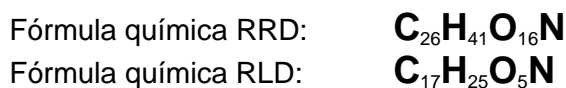
Tchobanoglous indica que los residuos sólidos pueden expresarse mediante fórmula  $C_xH_yO_zNd$  y que la producción de gas puede estimarse con base en la siguiente ecuación, la cual se basa en una conversión completa de los residuos biodegradables:



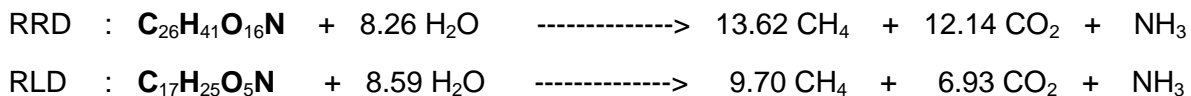
De acuerdo a la metodología ésta ecuación se aplica separadamente para los RRD y los RLD. Para el balance de la misma, se pueden emplear las siguientes expresiones.

$$\begin{aligned} A &= (4x-y-2z+3d)/4 \\ B &= (4x+y-2z-3d)/8 \\ C &= (4x-y+2z+3d)/8 \end{aligned}$$

Los valores de x, y, z y d se determinaron con base en el aporte de los elementos C,H,O y N, de cada uno de los componentes de los residuos sólidos. Dichos aportes fueron expresados en unidades de moles por cada 100 Kilogramos de residuos y posteriormente fueron expresados en unidades de moles de Nitrógeno. De los resultados obtenidos se pudo establecer que las fórmulas químicas para los RRD y los RLD fueron las siguientes:



Las ecuaciones estequiométricas balanceadas obtenidas fueron las siguientes (ver Anexo A, Tabla A-4):



## E. PRODUCCION UNITARIA DE BIOGAS

Con las ecuaciones estequiométricas balanceadas para los RRD y RLD se determinó la cantidad de metano y dióxido de carbono por cada Kilogramo de residuo mediante los siguientes cálculos:

### 1 *Cálculo de la densidad del Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)*

$PV = n RT$  Ley de los gases ideales

Donde P... Presión absoluta del gas, igual a 0.948 atmósferas para una altitud de 460.0 msnm (ver Anexo A, datos meteorológicos, estación IDEAM de Tauramena).

V... Volumen ocupado por el gas, litros

n... Número de moles, moles;  $n = W/PM$

T... Temperatura °K, igual a 25.2 °C ó 298.20 °K (Estación IDEAM Tauramena).

R... Constante igual a 0.082057 l-atm/mol-°K

W... Peso del gas, g.

PM... Peso molecular del gas, 16.04 g para CH<sub>4</sub> y 44.01 g para CO<sub>2</sub> y 30.03 g para el gas suponiendo 50% de Metano y 50% de Dióxido de carbono)

$PV = WRT/PM$

$W/V = P \times PM / R \times T$

Densidad gas,  $D = W/V$

$D = P \times PM / R \times T$  Fórmula para el cálculo de la densidad de un gas ideal

### 2 *Cálculo cantidad de Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por cada Kg de RRD*

Empleando la ecuación estequiométrica balanceada se obtiene lo siguiente:

Metano RRD = 218.62 g CH<sub>4</sub> / 621.07 g RRD

Dióx.C. RRD = 584.0 g CO<sub>2</sub> / 621.07 g RRD

Total Gas RRD = Metano RRD + Dióxido Carbono

Total Gas RRD = 1,206 Kg Gas/ Kg RRD / 1.163 Kg/m<sup>3</sup> = 1.036 m<sup>3</sup> Gas/Kg RRD

Total gas por disponibilidad de RRD = 75% x Total Gas RRD (Supuesto metodología Tchobanoglous).

### 3 *Cálculo cantidad de Metano (CH<sub>4</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por cada Kg de RLD*

Empleando la ecuación estequiométrica balanceada se obtiene lo siguiente:

Metano RLD = 237.95 g CH<sub>4</sub> / 322.95 g RLD

Dióx.C. RLD = 584.0 g CO<sub>2</sub> / 322.95 g RLD

Total Gas RLD = Metano RLD + Dióxido Carbono

Total gas por disponibilidad de RLD = 50% x Total Gas RLD (Supuesto metodología Tchobanoglous).

## F. TASA Y CANTIDAD DE BIOGÁS

Siguiendo los supuestos de la metodología de Tchobanoglous (1) en las Tabla anexas de 1 a 7 se presentan los cálculos de las curvas triangulares de biogás, la tasa de producción y cantidad acumulada de biogás. De acuerdo con las estimaciones de la producción de biogás, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Según la composición física, los residuos tienen un potencial de generación de biogás de 94.0 litros por cada Kg de residuos dispuestos.
- La cantidad total de biogás en el relleno se estimó en 182,853 m<sup>3</sup>.
- De acuerdo con las suposiciones del modelo, se espera en el año 16 (2014) se haya generado el 100% del biogás, a partir de la materia orgánica disponible en el relleno sanitario. En el año 2012 se espera que se haya formado el 95% del biogás.
- Para el final del año 2004 se estima que se haya producido el 72% del biogás. Lo anterior indica que el relleno se encuentra en la fase de maduración, por lo cual se dice que el relleno aún no es estable biológicamente. Lo anterior indica que al relleno aún le queda por generar el 13% del biogás para lograr su estabilidad. Según el modelo, su estabilidad se lograría en el año 2012.
- Es de aclarar que la estimación de la producción de biogás no es el único parámetro indicador de estabilidad. La medición directa de la calidad de biogás y el lixiviado, pueden enriquecer el resultado definitivo sobre el nivel de estabilidad del relleno.

## 5.2 LOCALIZACIÓN

La zona de interés, localizada en el piedemonte llanero en estribaciones de la cordillera oriental (**Figura 5.4**, tomado de GEOTEC INGENIERIA) forma parte de la cuenca del río Cusiana. Entre los afluentes de éste último se encuentra el río Unete, que es la fuente superficial a la cual desembocan las corrientes de agua las cuales corresponden a: río Cachiza, las quebradas: La Vegana, Tamaná y La Arenosa.

El municipio de AGUAZUL limita con los siguientes municipios: (**Mapa 5.1**, tomado de GRADEX Ltda.).

Norte	:	Municipio de Pajarito (Boyacá)
Sur	:	Municipios de Tauramena y Maní
Oriente	:	Municipio de Yopal
Occidente	:	Municipio de Tauramena

El relleno sanitario de Cupiagua se encuentra a 5 Km aproximadamente del centro urbano Municipio de Aguazul en la vereda Cupiagua (**Figura 5.4**), sobre la margen izquierda de la carretera que lo comunica con Tauramena, localizándose el lote en un área adyacente al relleno sanitario de Aguazul, que actualmente se encuentra en operación.

El área en estudio está comprendida entre las coordenadas:

N : 1'062.300      -    1'062.500  
E : 835.350        -    835.600

### **5.3 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES**

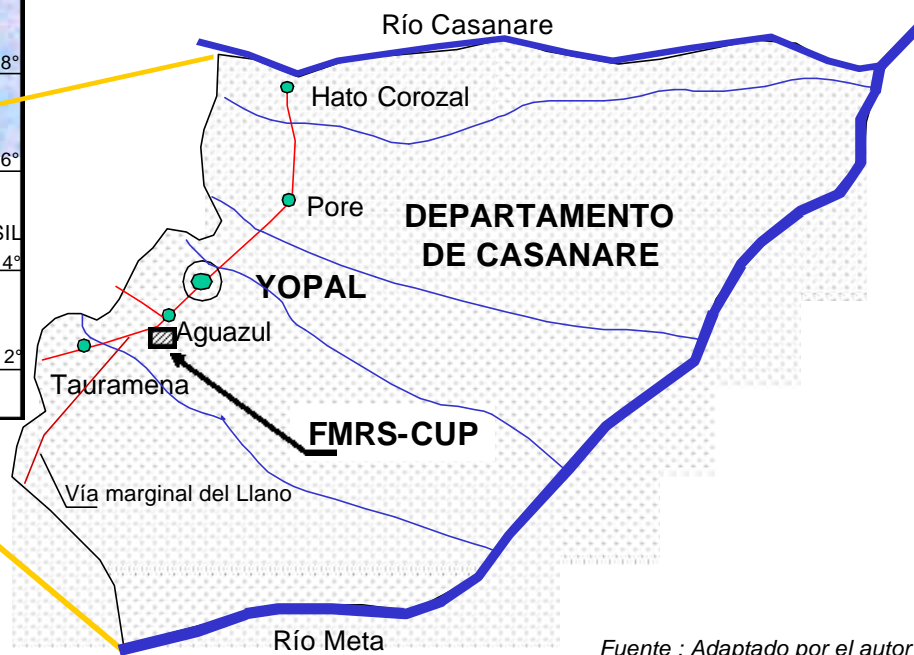
#### **5.3.1 Características geológicas y geomorfológicas**

El lote donde se localiza las facilidades de Manejo de Residuos sólidos tiene un área total de 4.7 Hectáreas. Presenta una topografía ondulada con pendientes que varían entre el 3 y 7% siendo la de 3% la que más predomina.

La mayor parte del área estaba cubierta en pastos para ganadería y presenta una zona de bosque, localizada en el costado oriental del mismo con un área aproximadamente de 1 hectárea. El área se encuentra delimitada perimetralmente por la quebrada la Obsequia en la zona sur - occidental del lote; y la Arenosa en el costado oriental. Las riveras de estas quebradas se encuentran protegidas por una franja de 2 a 5 metros de bosque natural.

La morfología es propia de los depósitos aluviales del piedemonte llanero, que forman en el predio una Terraza Alta (Qt2), de edad Cuaternaria. En los terrenos adyacentes, los depósitos aluviales forman otra Terraza más baja (Qt1), que es más extensa hacia el oriente, estas dos Terrazas están cortadas por el Cauce del Caño La Arenosa que baja hacia el oriente con un delgado lecho meandriforme Dentro de la misma finca el Caño recibe un pequeño tributario que viene del nor-occidente. En las riveras de las quebradas obsequia y Arenosa, se deposita un cuaternario Aluvial (Qc) (Mapa 5.2, tomado de HIDROMECAICAS LTDA).

Hacia el occidente del Lote, la superficie aluvial contrasta con una expresión topográfica de ladera montañosa que se empina en esa dirección, configurada en primer lugar por una faja de relieve bajo con suaves ondulaciones, producido por una litología de lodolitas de la Formación San Fernando de Edad Terciaria Media (Tsf), y más al occidente por un relieve más abrupto, conformado por una serie de niveles de areniscas y lodolitas de la Formación Diablo Inferior (Tdi), Terciaria Superior.



Fuente : Adaptado por el autor



TÍTULO:

Localización general de las FMRS-CUP

FIGURA:

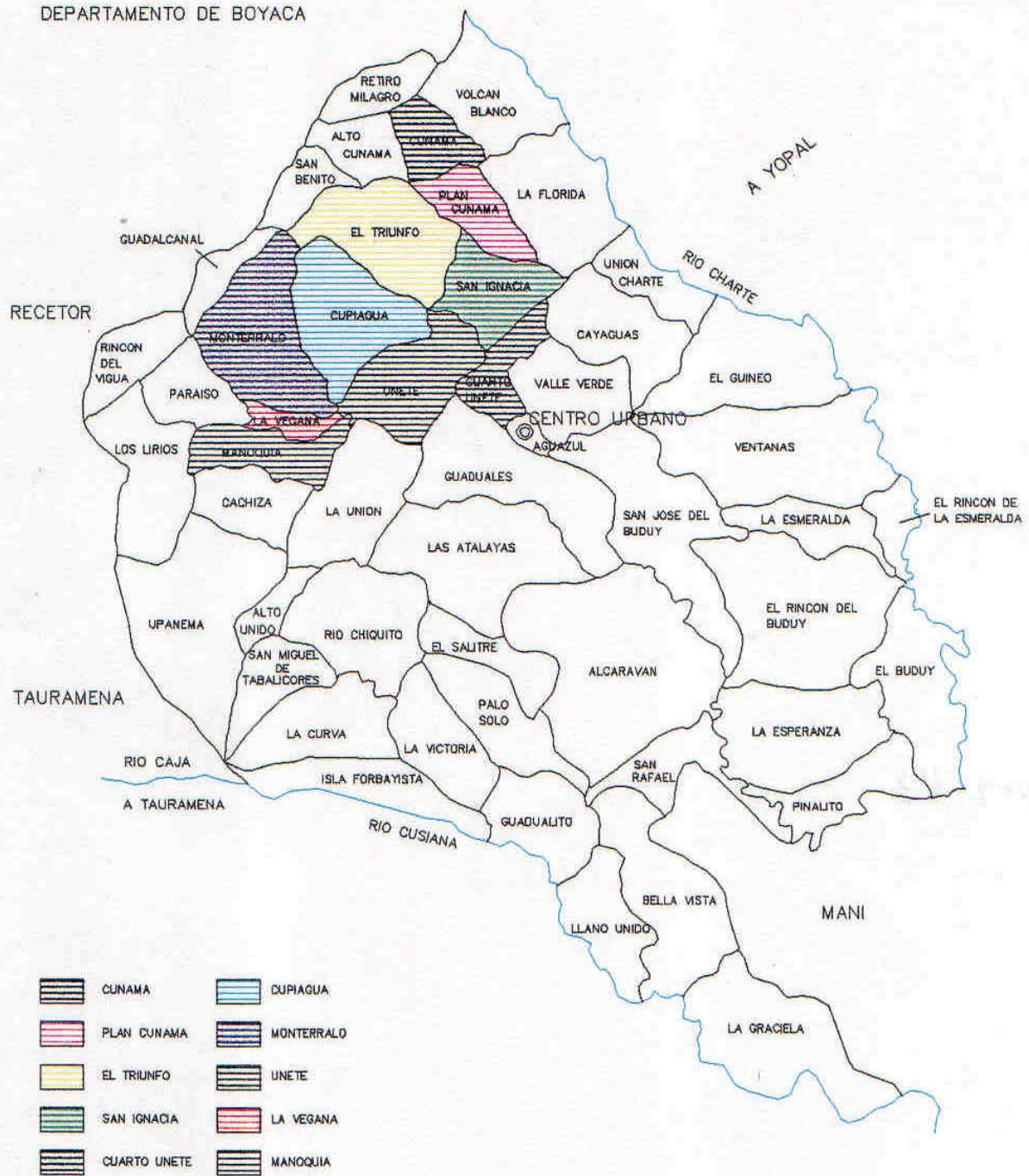
5-4

PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA  
FMRS-CUPIAGUA

FECHA:

Oct- 2,001

DEPARTAMENTO DE BOYACA

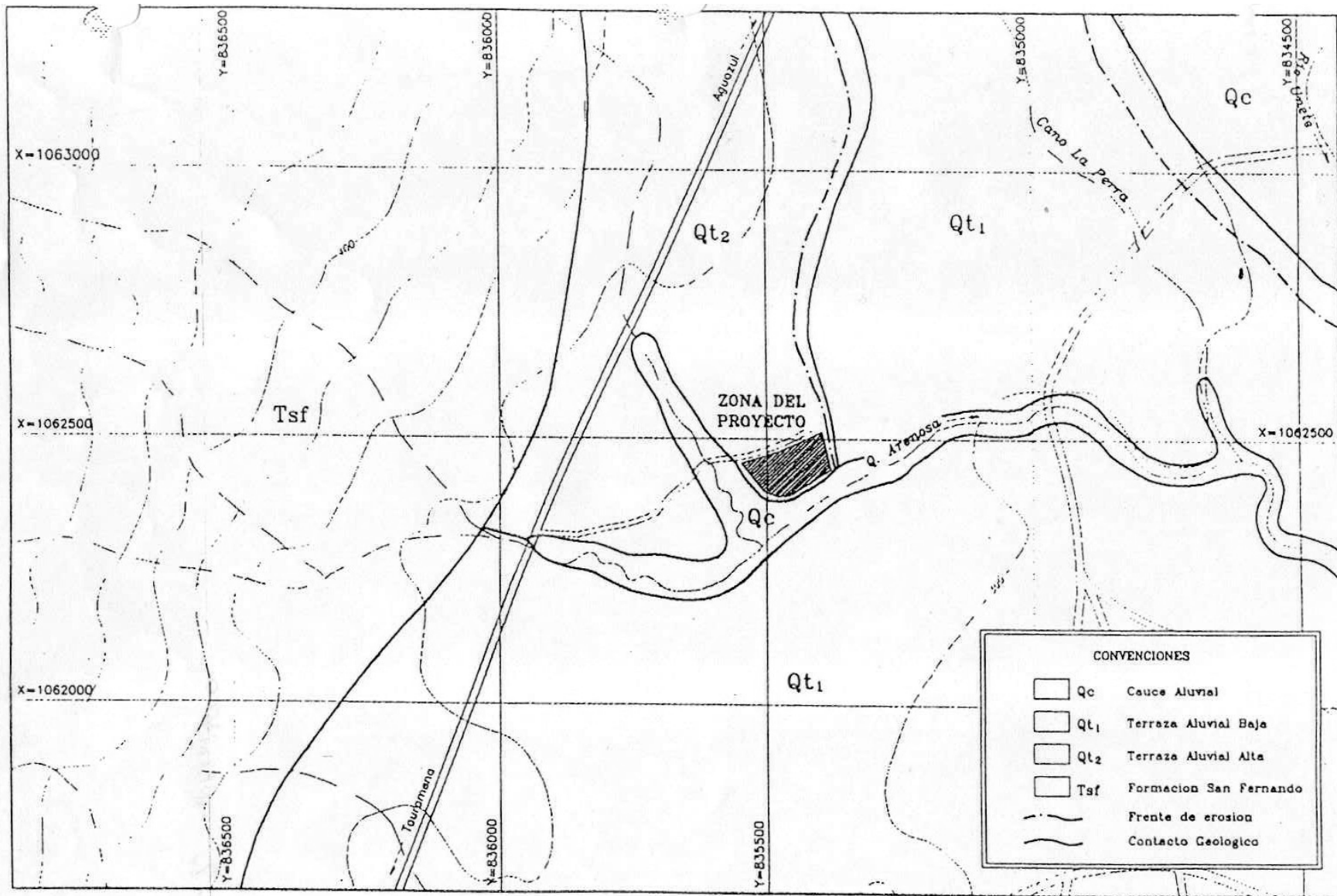


EXPLORATION (COLOMBIA) LTD.  
Division Medio Ambiente  
Fase II

gradex ltda.

PROYECTO:  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
C.P.F - CUPIAGUA

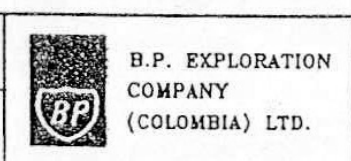
MAPA 5.1  
VEREDAS  
MUNICIPIO DE AGUAZUL



**RELLENO SANITARIO CPF - CUPIAGUA**

**GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA  
EN EL AREA PUNTUAL**

ESCALA:  
1:10000



FECHA:  
AGOSTO DE 1995

MAPA 5.2

- **Estratigrafía**

La descripción estratigráfica de las unidades Cuaternarias y Terciarias de área, siguiendo el orden de la más joven a la más antigua, es la siguiente:

- **Depósitos Aluviales**

Comprende depósitos de Llanura Aluvial (este corresponde al piso del relleno sanitario), de edad Cuaternaria, apoyados sobre las unidades Terciarias y compuestos por una secuencia de gravas, con predominancia de guijarros y guijas redondeadas, con una matriz arcillo limosa. Es un conjunto permeable que recoge fácilmente parte del agua que circula por el cauce de la Arenosa o recibir y/o conducir lixiviados provenientes de la celda si existieran fugas.

- **Formación San Fernando (Oligoceno - Mioceno) (Tsf)**

Esta Formación se reconoce por un relieve suavemente ondulado que se presenta inmediatamente al occidente del predio, creando un paisaje intermedio entre el sector más abrupto y el sector de terrazas. Se compone de una serie de estratos arcillosos gruesos, con intercalaciones menores de areniscas cuarzosas. Hidrogeológicamente constituye una capa impermeable infrayaciendo al cuaternario en el sector del relleno sanitario.

### **5.3.2 Hidrogeología: Potencial acuífero del subsuelo**

El potencial Acuífero de la zona de Estudio se relaciona con los depósitos de la Terraza de Edad Cuaternaria, cuya granulometría gruesa le genera una permeabilidad alta que recoge con facilidad aguas infiltradas de la superficie.

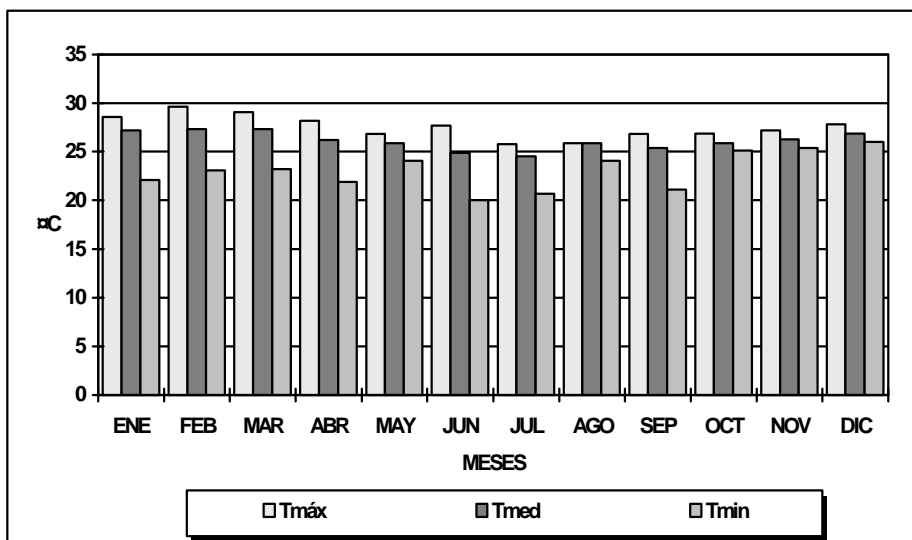
De igual manera los lixiviados producto del lavado de materiales de desecho que se ubiquen en el sector, se infiltrarían con facilidad en el subsuelo, contaminando las aguas superficiales que intercepten el nivel freático. Por ello se diseñó un adecuado sistema de impermeabilización.

### **5.3.3 Características climáticas**

El clima de la zona es cálido, con temperatura media anual de 26 °C, según los valores reportados por la estación meteorológica de Aguazul. El mes de febrero se alcanzan temperaturas promedio de 28 °C y en el mes de agosto se presentan temperatura promedio de 24.7 °C. En la **Figura 5.5**, se observan los valores medios mensuales de temperatura registrados por el IDEAM durante los años de 1968 a 1995.

La precipitación promedio anual de 2.607,5 mm, caracterizada por dos períodos bien definidos durante el año. En el período de lluvias, comprendido entre los meses de abril a noviembre se presenta el 92% de la precipitación anual, siendo junio el de mayor precipitación con un valor que alcanza los 428 mm en el mes. El 8% restante de lluvia anual se presenta en período comprendido entre diciembre y marzo.

**Figura 5.5. Valores Medios Mensuales de Temperatura**



Fuente: Registros Históricos 1968 - 1995. IDEAM

La velocidad media del viento es de 1.94 m/s y la dirección predominante es la del Noreste NE.

La mayor parte del año la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial, lo cual refleja un período húmedo en los meses de abril a noviembre con un almacenamiento de agua en el suelo y un exceso anual de 1182.35 mm. En los meses de diciembre a marzo, la evapotranspiración potencial supera la precipitación y por tanto se presenta un déficit anual de 258.03 mm, el cual es rápidamente superado por el período lluvioso tan largo que se presenta en el área, restituyéndole de nuevo el agua al suelo.

**Tabla 5-3. Valores medios mensuales de precipitación**

	PRECIPITACION (mm)												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Pmáx	32,8	281,6	206,9	571,1	679,9	550,8	709,0	770,0	555,9	584,2	314,0	122,5	770,0
Pmed	6,0	73,4	78,7	306,0	391,6	404,2	404,2	318,4	284,8	299,3	141,7	19,9	
Pmin	0,0	0,0	5,0	110,9	191,4	204,0	194,1	130,7	73,4	151,3	6,0	0,0	0,0

(b) Fuente: Hidromecánicas Ltda. 1995.

**Tabla 5-4. Valores medios mensuales multianuales de temperatura**

	TEMPERATURA MENSUAL (°C)												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Tmáx	28.6	29.6	29.1	28.2	26.8	27.7	25.8	25.9	26.8	26.9	27.2	27.8	29.6
Tmed	27.2	27.3	27.3	26.2	25.9	24.9	24.5	25.0	25.4	25.9	26.3	26.9	26.1
Tmin	22.1	23.1	23.2	21.9	24.1	20.0	20.7	24.1	21.1	25.1	25.4	26.0	20.0

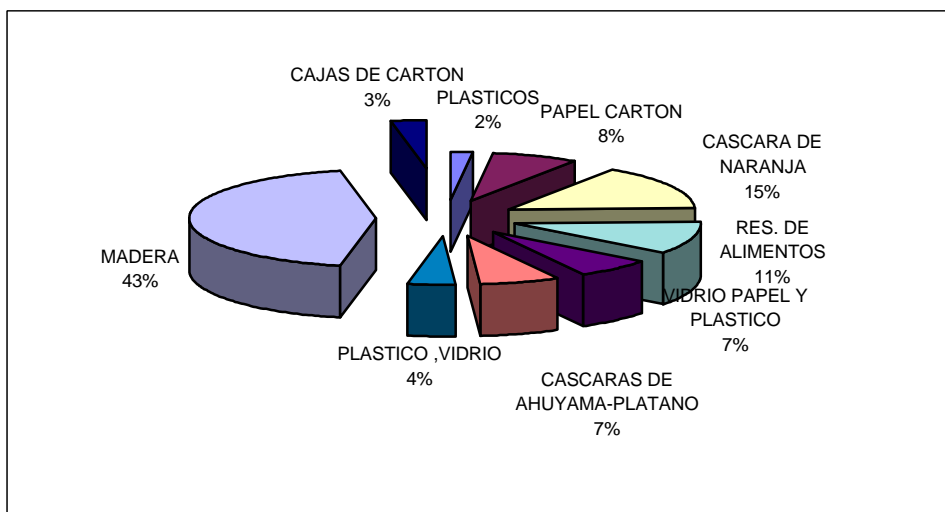
Fuente: Registros Históricos 1968 - 1995. IDEAM

## 5.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LOS POZOS DE CUPIAGUA

### 5.4.1 Residuos sólidos generados

Los residuos en los pozos se componen de plásticos, papel y cartón provenientes de envolturas de alimentos y de desechos de oficina; desechos orgánicos resultantes de la elaboración de alimento diario; madera proveniente de los usos industriales, filtros; y metales como tubos, láminas, alambres, cintas y tapas, producto de las labores industriales de los pozos. En la **Figura 5.6** se observan los índices de producción de residuos sólidos en porcentaje evaluados por Hidromecánicas en 1.995.

**Figura 5.6 Índices de producción de residuos sólidos**



Fuente: HIDROMECHANICAS 1995

**Tabla 5-5. Índice producción de residuos sólidos convencionales pozos Cupiagua II y III**

DESCRIPCION	VOLUMEN m <sup>3</sup>	PESO (Kg) Caneca	PESO (Kg) Caneca+ Desechos	PESO (Kg) Desechos
PLÁSTICOS	0.02	4.83	103.54	98.71
PAPEL CARTON	0.09	4.30	373.76	369.46
CASCARA DE NARANJA	0.18	4.30	733.20	728.90
RES. DE ALIMENTOS	0.13	4.30	534.00	529.70
VIDRIO PAPEL Y PLASTICO	0.08	4.30	327.02	322.72
CASCARAS DE AHUYAMA-PLATANO	0.08	2.30	345.05	342.75
PLASTICO ,VIDRIO	0.05	4.30	203.50	199.20
CENIZAS	0.37	4.30	1528.87	1524.57
<b>TOTAL DIARIO</b>				<b>4116.00</b>

*Fuente: Información recolectada y procesada por Hidromecánicas Ltda, 1993.*

## 6. EVALUACIÓN

En este capítulo se realiza una evaluación técnica y ambiental por medio de Matrices cualitativas y cuantitativas; además de una verificación de las acciones de cumplimiento con respecto al Plan de Clausura y Post-clausura y La Resolución de 200-15-0297 del 12 de junio de 2002 de Corporinoquia, con respecto a las FMRS-CUP y su interrelación con el relleno de Aguazul.

De acuerdo a la evaluación anterior se establecen las conclusiones y recomendaciones respectivas.

### 6.1 ANALISIS DEL NIVEL DE ESTABILIZACION DEL RELLENO

#### 6.1.1 Introducción

Como se indicó en el marco teórico, el relleno sanitario se estabiliza biológicamente a través de varias etapas, las cuales se desarrollan en función del contenido de materia orgánica presente en la masa del relleno.

Por su parte el nivel de estabilización del relleno tiene relación directa con la calidad de los lixiviados, los gases y la estabilidad geotécnica o movimientos del relleno, por lo tanto, estos elemento a su vez son indicadores del nivel de estabilización del relleno.

De esta manera, el nivel de estabilización del relleno ha sido analizado mediante los siguientes indicadores:

- Producción de biogas
- Calidad de los lixiviados
- Calidad del biogás.

El análisis conjunto de estos indicadores ha permitido establecer la fase de estabilización en la cual se encuentra el relleno sanitario de Cupiagua. Este nivel de estabilización a su vez ha sido empleado como criterio fundamental en las evaluaciones ambientales, ya que en la medida en que el relleno es mas estable, las interacciones del relleno con el medio ambiente se hacen menos relevantes.

### 6.1.2 Producción de biogás

Teniendo en cuenta los datos de monitoreo realizados el 5 de junio de 2004 para las chimeneas A y B, se obtienen valores de 0,0% y 0,5% respectivamente en contenido de metano y teniendo en cuenta que los valores porcentuales de contenido de metano para un relleno sanitario maduro en su fase V oscilan entre 20 y 50%; se puede afirmar que el relleno sanitario del CPF Cupiagua se encuentra estabilizado.

**Tabla 6-1. Producción de Biogas**

COMPOSICIÓN	CONCENTRACIÓN TÍPICA EN FASE V (% base seca)	Chimenea A (5-jun-04)	Chimenea B (5-jun-04)	CARACTERÍSTICA
Metano	20 a 50	0,0	0,5	Nula

### 6.1.3 Calidad de lixiviados, Aguas superficiales y aguas subterráneas

Teniendo en cuenta los datos de monitoreo reportados por la empresa ILAM LTDA realizados 3 a 6 de junio de 2004 para evaluar la calidad de lixiviados, la calidad del agua superficial aguas arriba y aguas abajo de las quebradas Obsequia y Arenosa y los datos de monitoreo de los piezómetros 1A, 2, 3, 4A, 6A, 8A, 11,12,13A y 13B (ver anexo datos de monitoreo), comparados con los valores típicos de los lixiviados de un relleno sanitario maduro y los valores típicos para agua cruda según el Decreto 1594/84 (ver tabla 6.2), se puede afirmar que la calidad del agua subterránea, agua superficial y lixiviados, no presentan contaminación y por el contrario, su calidad se asemeja a la calidad exigida para un agua cruda, según los parámetros establecidos en el decreto antes mencionado.

### 6.1.4 Conclusión del nivel de estabilización

De acuerdo con los análisis anteriores podemos concluir que el relleno sanitario de Cupiagua se encuentra en la parte final de la fase V de estabilización del relleno, lo cual indica que el contenido de materia orgánica presente en los residuos no es significativo y consecuentemente su aporte en el biogás y el lixiviado es bastante bajo.

Por lo anterior se puede esperar que la calidad del lixiviado tenga un bajo contenido de contaminantes, especialmente materia orgánica, lo que consecuentemente se verá reflejado en interacciones bajas con el medio ambiente. Esta misma observación se puede tener a nivel de emisiones de biogás e incluso de gases responsables de olores.

**Tabla 6-2 Calidad de agua subterránea, superficial y lixiviado comparado con la norma. (Datos tomados en campo 4-jun-2004)**

PARAMETROS	Decreto 1594/84 calidad admisible de agua para consumo humano, para su potabilización solo se requiere tratamiento convencional	LIXIVIADO TÍPICO FASE 5 MADURACION	Piscina de lixiviados	Piezómetro 2 contiguo a piscina de lixiviados	Piezómetro 6 contiguo a piscina de lixiviados	QUEBRADA OBSEQUIA 100 m AGUAS ARRIBA RELLENO SANITARIO	QUEBRADA OBSEQUIA 250 m AGUAS ABAJO ANTES CONFLUENCIA CON QUEBRADA ARENOSA	QUEBRADA ARENOSA 20 m AGUAS ARRIBA ANTES CONFLUENCIA CON QUEBRADA OBSEQUIA	QUEBRADA ARENOSA 50 m AGUAS ABAJO RELLENO SANITARIO	EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )		200-1000	344	11	5	11	6	9	8	Cumple
Cloruros (mg/L-Cl)	250.0	100-400	87.4	2,9	3,9					Cumple
Color (UND)	75		40							Cumple
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )		1,400 – 4,500	920	21	29	10	11	38	31	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	20.000		430							Cumple
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	2.000		40							Cumple
DBO (mg/L-O <sub>2</sub> )		4 - 120	21.0	2	1	1	1	1	1	Cumple
DQO (mg/L-O <sub>2</sub> )		31 – 900	38	24	12					Cumple
Dureza Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )		200-500	170							Cumple
Dureza de Magnesio (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )		50-200	60							Cumple
Grasas y Aceites (mg/L)	No se acepta película visible		2.8							Cumple
Nitratos (mg/L-N)	10.0	5-10	0.41							Cumple
Nitritos (mg/L-N)	1.0		0.00							Cumple
Sulfatos (mg/L-SO <sub>4</sub> )	4400.0	20-50	10.7		0,6					Cumple
Cadmio (mg/L-Cd)	0.01		<0,01							Cumple
Cobre (mg/L-Cu)	1.0		<0,04							Cumple
Cromo Total (mg/L-Cr)	60.05		<0,05							Cumple
Fósforo Total (mg/L-P)		5-10	0.12	0,09						Cumple
Hierro Total (mg/L-Fe)		20-200	1.41	4,09	6,24	0.11	0.18	0.23	0.21	Cumple
Manganeso (mg/L-Mn)		50-200	0.22							Cumple
Mercurio (µg/L-Hg)	0.002		<0,10							No se sabe , se recomienda verificar este valor en piscina
Zinc (mg/L-Zn)	15.0		0.16	0,09	0,05					Cumple
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)		100-400	26			17	20	11	12	Cumple
Temperatura (°C)			27.9	27,2	27,7	27.7	27.4	28.7	27.7	Normal
Fósforo total		5-10			0,05					Cumple
pH (UND)	5.0 – 9.0	7.1 – 8.8	6.8	4,9	4,8	6.5	6.4	6.6	6.8	Cumple pero Ligera acidez en piezómetro 6ª y 2

## 6.2 EVALUACION TECNICA

El objetivo de la evaluación técnica es verificar que los elementos que componen las FMRS-CUP se encuentren en buen estado y cumpla con los objetivos de funcionalidad y control ambiental, para la fase del postclausura del proyecto.

### 6.2.1 Relleno sanitario de Cupiagua

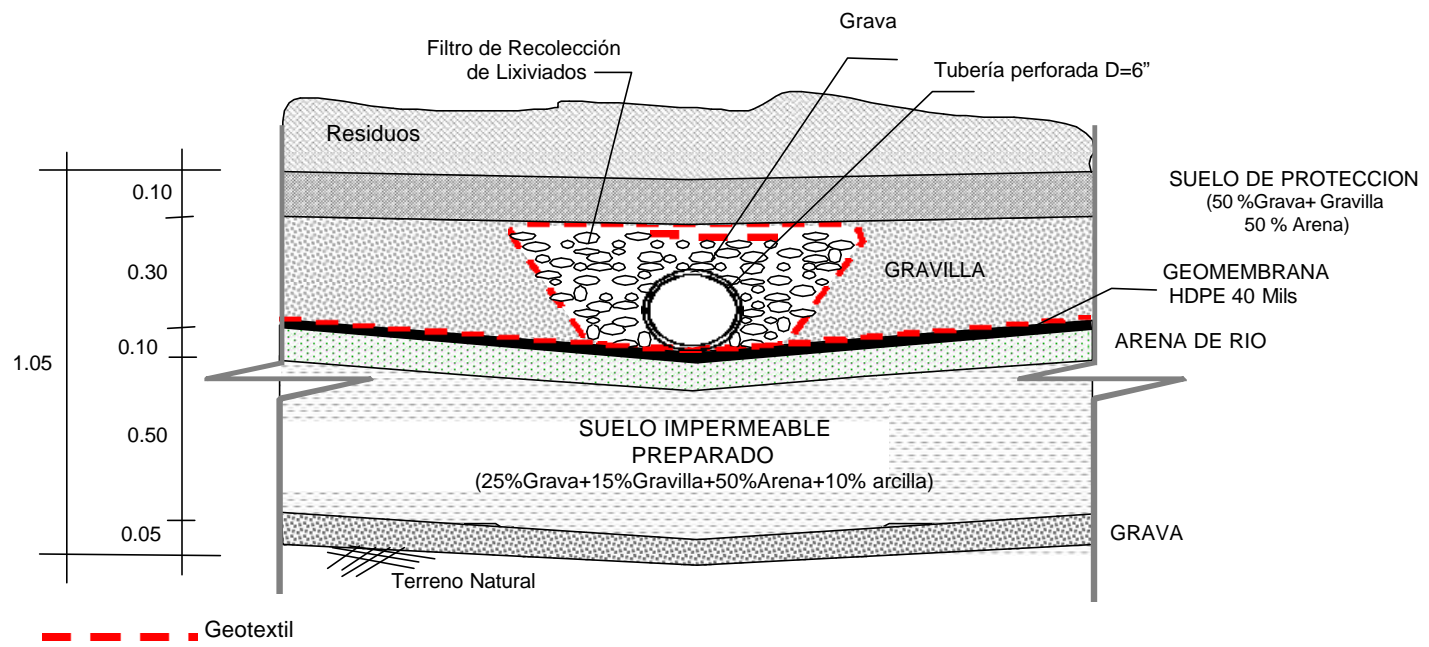
Se puede observar la entrada al relleno sanitario en las Fotos 0, 57 y 59. Se analizaron las siguientes características:

- **Cobertura final:** Los niveles de la capa arcillosa de la cobertura final, no cumplen con los 0.15 m requeridos, pues se encontraron niveles de muy bajo espesor y en la mayor parte del área superficial de la etapa 1 no existe (Fotos 2, 3, 4); además la restauración final plantea la colocación de una capa de humus o suelo orgánico que permita la revegetalización y la recuperación ambiental. No se encontró uniformidad en los espesores de las capas de recubrimiento donde existían.



Con respecto a la geomembrana que recubre la celda del relleno, debido a la falta de capa arcillosa y bajos espesores de recubrimiento de celda, la geomembrana se encuentra fracturada en muchos sectores (Foto 3), lo que ocasiona el aumento de lixiviados por filtración de agua de escorrentía y aguas lluvias. Adicionalmente el recubrimiento de cobertura final, presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial, ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía; esto causa apozamientos o zona de acumulación de agua lluvia, lo cual genera susceptibilidad de fracturamiento de la geomembrana y posible aumento del volumen de lixiviados.

- **Sistema de impermeabilización de fondo:** la impermeabilización de fondo corresponde a un sistema diseñado para evitar la infiltración de lixiviados. ( tomado de GEOTEC INGENIERIA); la cual cubre la base de la etapa 1 del relleno y está conformado por:
  - Una geomembrana HDPE 40 Mils, que cubre base y talud.
  - Una capa de arena de río con un espesor de 0,1 m.
  - Una capa de suelo impermeable preparado de 0.5 m.
  - Una capa de grava de 0.05 m.

Con respecto a esta impermeabilización de fondo se puede explicar en dos partes: la primera es observable a simple vista y corresponde a la zona del talud, que se encuentra desprovisto totalmente de la geomembrana sin ninguna razón aparente, lo cual causa infiltración de aguas de escorrentía aumentando el volumen de lixiviados en época de alta precipitación (Foto 5, 6, 7); la segunda se evalúa en base a los resultados obtenidos del análisis del monitoreo de aguas, de los piezómetros P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7, teniendo en cuenta las CURVAS DE NIVEL DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LÍNEAS DE FLUJO. (**Figura 6.2**, tomado de INGENIERÍA Ltda).



Fuente: INGENMETRICA. 1998.

		<b>TÍTULO:</b> Sistema de impermeabilización de fondo construido en la Etapa 1 del relleno sanitario de Cupiagua.	<b>FIGURA:</b> 6.1
		<b>PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA</b> <b>FMRS-CUPIAGUA</b>	<b>FECHA:</b> Oct- 2,001



- **Filtro de recolección de lixiviados:** corresponde al un filtro en forma de espina de pescado localizado en la base de la celda (**Figura 6.3**, tomado de GEOTEC INGENIERÍA) el cual tiene la función de recoger los lixiviados, que provienen de la descomposición de los residuos orgánicos y conducirlos a la piscina para lixiviados (Fotos 8 a 15); teniendo en cuenta este análisis se define que se encuentra en funcionamiento normal, pues la piscina No 1 mantiene su nivel, aunque se observó in bajo volumen en la época de visita de campo (tiempo de baja precipitación).
- **Sistema de recirculación:** Este sistema se observa en la **Figura 6.4** (tomado de GEOTEC INGENIERIA), el sistema opera de la siguiente forma: el lixiviado proveniente de la celda (relleno sanitario) entra a la cámara de derivación, la cual sedimenta la partículas de mayor tamaño, posteriormente, pasa al tanque de lixiviados para ser bombeado hacia la celda mediante tubería perforada que lo distribuye uniformemente sobre la celda. Cuando el nivel de lixiviados es alto, al entrar a la cámara de derivación (proveniente de la celda), este rebosa y es conducido por gravedad hacia la piscina, la cual cumple la función de almacenamiento y donde se sucede el proceso de evaporación; al llegar a un alto nivel de lixiviado en la piscina, este se conduce hacia el tanque de lixiviados, para ser bombeado hacia la celda. (Fotos 8 a 15).

No se ha operado la bomba de recirculación (Foto 10) desde hace 2 años, se debe reiniciar operación, pues no se está haciendo reinyección de lixiviados, sobre los residuos de la etapa 1 y por lo tanto no se está logrando el proceso de disminución de contaminantes del lixiviado.

La tubería de conducción final de lixiviados, a la salida de la celda se encuentra rota (Foto 8, 9).

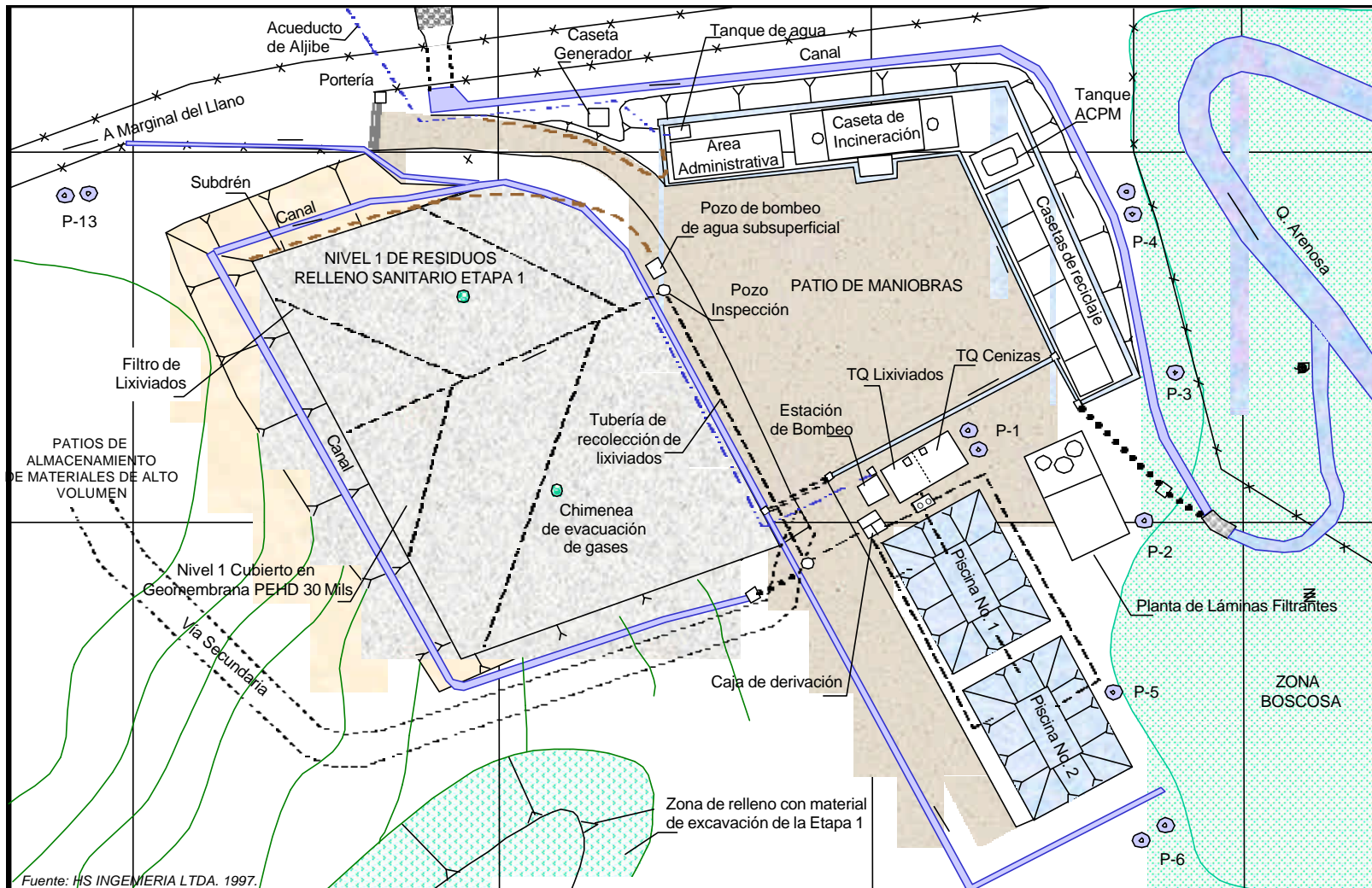
- **Piscinas:** se encuentran 2 piscinas para almacenamiento y proceso de evaporación de lixiviados (Figura 6.4), de las cuales se clausuró una según lineamientos de CORPORINOQUIA.

La piscina que quedó en operación tiene las siguientes características:

El estado en general de la geomembrana, la estructura y teja de cobertura de la piscina, se encuentran en buen estado, a pesar que la capacidad de la cobertura de la teja es buena y las aguas lluvia que escurren caen a un área de cemento que se encuentra en desnivel se ha presentado reboce en la piscina de lixiviado en época de invierno, debido a la falta de canales perimetrales para conducción de aguas lluvia directamente a la quebrada. Esto nos comprueba que el proceso de recirculación no se encuentra en operación. (Fotos 11 a 15).

Se encontró que en la base de la piscina, existe un volumen mediano de sedimento (lodos) proveniente de la celda y algunos materiales como trozos de madera, animales, otros residuos.

El filtro de recolección de lixiviados que va hacia la piscina opera normalmente.



Fuente: HS INGENIERIA LTDA. 1997.

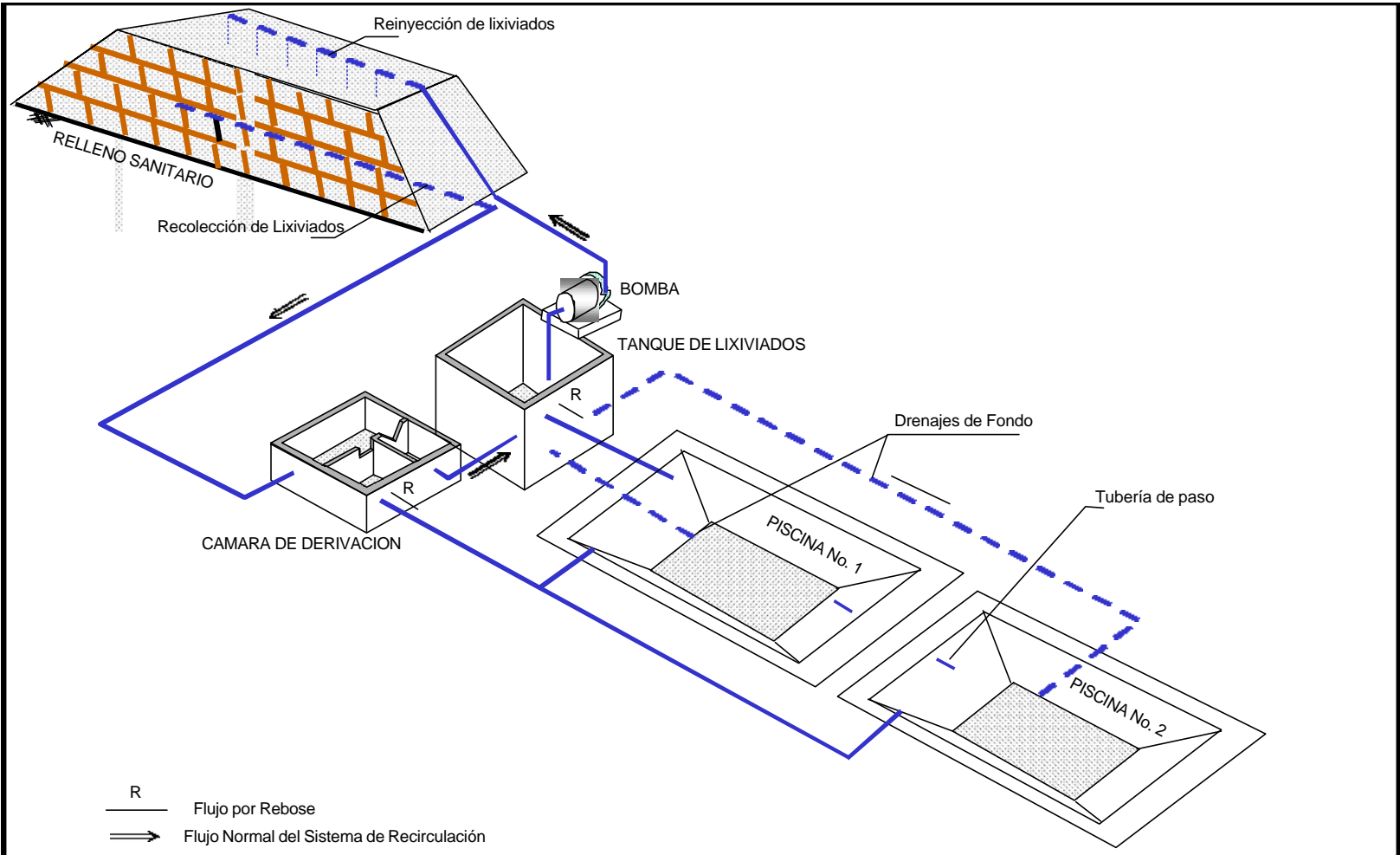


**TÍTULO:**  
Descripción del estado actual de las FMRS-CUPIAGUA  
Octubre de 2,001.



**PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA  
FMRS-CUPIAGUA**

**FIGURA:**  
6.3

**FECHA:**  
Oct-2,001



Fuente: Hidromecánicas. 1995.

		<b>TÍTULO:</b> Descripción del sistema de recirculación de lixiviados del Relleno Sanitario de Cupiagua.	<b>FIGURA:</b> 6.4
		<b>PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA</b> FMRS-CUPIAGUA	<b>FECHA:</b> Oct- 2,001

- **Chimenea de gases:** la etapa 1 del relleno sanitario, está provista de dos chimeneas, a una distancia de 30 metros una de otra, construidas con tubo perforado de PVC de diámetros de 6" con filtros de material granular y muro en ladrillo calado (**Figura 6.5**, tomado de GEOTEC INGENIERÍA) (Fotos 16 a 18).

Las chimeneas deben estar provistas de una terminación en la tubería, tipo cuello de ganso, con el fin de evitar infiltración de aguas lluvia que aumenten el volumen de lixiviados; de las cuales solamente cumple una de las chimeneas.

- **Canales perimetrales:** los canales perimetrales están revestidos en concreto, con una longitud de 212 metros, los cuales cumplen la función de evacuar aguas lluvias provenientes de la parte alta del talud y la zona baja del relleno y así evitar la infiltración de aguas lluvias al relleno sanitario- (Fotos 19 a 24 y Figura 6.3).

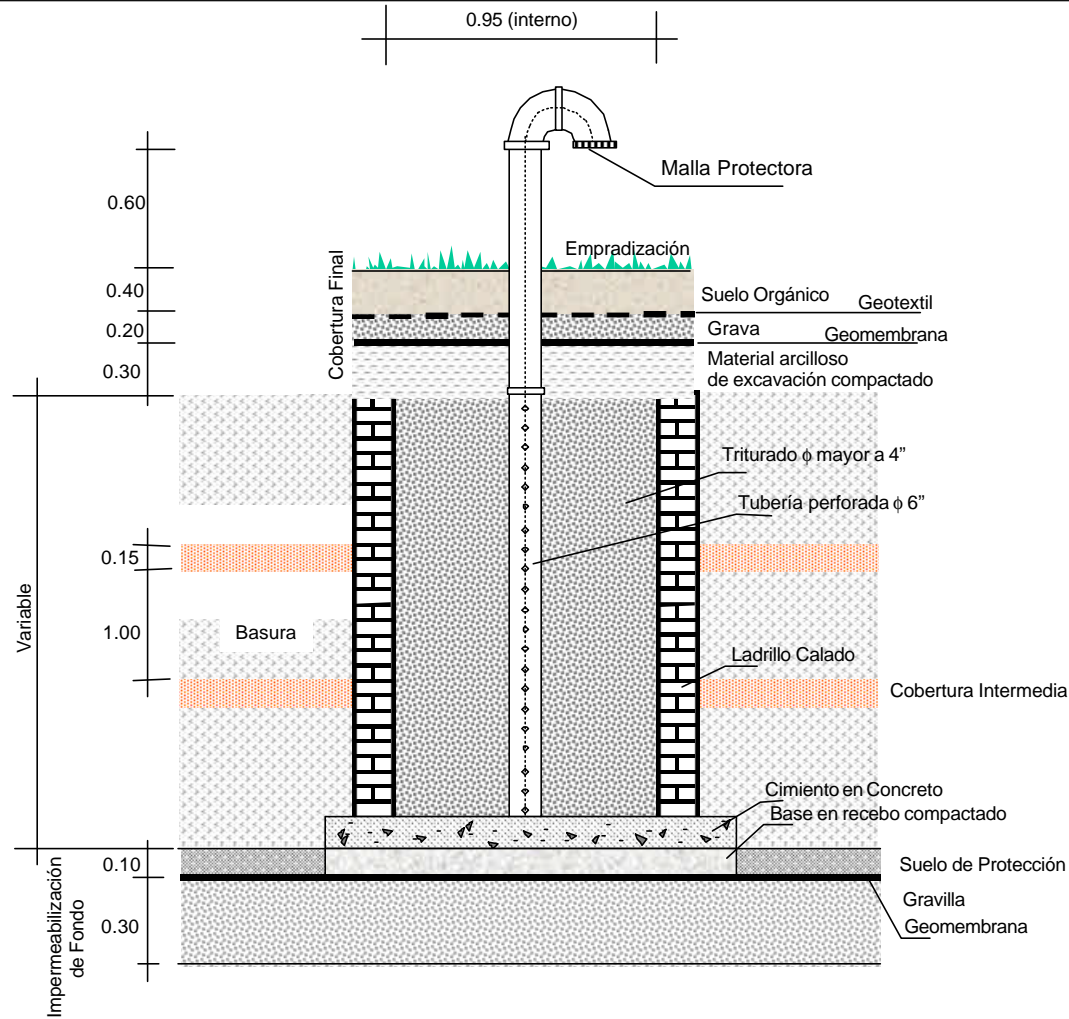
Los canales perimetrales se encuentran en operación y en buen estado. Aunque les falta mantenimiento, no existen apozamientos de agua, debido a que se cuenta con una buena pendiente de los mismos (Fotos de la 19 a la 24 y Foto 58). Se observa falta de rejilla final en la caja de control de turbulencia.

- **Sistema de agua subterránea:** corresponden a dos subdrenes ubicados a lado y lado de la vía de acceso, los cuales se construyeron con el fin de disminuir los niveles freáticos de la zona aledaña al relleno sanitario. El sistema cuenta con un pozo de bombeo en concreto a donde llegan aguas subterráneas provenientes de los subdrenes, cuya función es bombear dichas aguas hacia los canales perimetrales, para posteriormente ser conducidas a la quebrada (Figura 6.3).

En general la bomba de abatimiento y subdrenes se encuentran en buen estado, (Foto 25). Las escaleras internas del pozo de bombeo, presentan oxidación (Foto 26).

- **Taludes:** se encuentran dos taludes: el primero, corresponde a los niveles 1 y 2 de la etapa 1, el cual estaba recubierto con geomembrana, con una altura máxima de 2,5 m y una inclinación de 75°; es geotécnicamente estable y se encuentra revegetalizado con pastos hacia el sector sur-occidente y nor-oriente (contiguo a la caseta de celaduría) (Foto 27 y 28) y desprovisto hacia el sector central.

El segundo talud corresponde a los niveles 3 y 4 de la etapa 1 del relleno sanitario, el cual posee una altura máxima de 2.5 m y un ángulo de talud de 75° aproximadamente; es estable en la actualidad y revegetalizado naturalmente hacia el sector central del talud del relleno sanitario y descubierto hacia los sectores laterales. Se extendió una capa de agrotexil pero el talud nor-oriental no se recuperó. No existió empradización del talud.



Fuente: Hidromecánicas. 1995.



**TÍTULO:** Descripción de la chimenea de evacuación de gases

PLAN DE CLAUSURA Y POSTCLAUSURA  
FMRS-CUPIAGUA

**FIGURA:**  
6.5

**FECHA:**  
Oct- 2,001

### 6.2.2 Area de administración

Corresponde a: aljibe y tanque de almacenamiento de agua, oficinas y baños, cunetas de agua lluvia, sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

- **Aljibe y suministro de agua:** es un tanque de concreto de 4,5 m<sup>3</sup>, el cual se surte de un aljibe localizado a la entrada de las FMRS-CUP, contiguo a la caseta de vigilancia (Foto 33 y 34), este posee una red de conducción en tubería de pvc, hasta el tanque de almacenamiento localizado en la zona administrativa (Figura 6.3), el aljibe cuenta con su respectivo medidor de flujo y tapa con candado, el sistema se encuentra en buen estado; adicionalmente el nacimiento se encuentra cubierto a su alrededor con vegetación nativa.
- **Oficinas y baños:** corresponde a tres habitaciones y dos baños, que en general se encuentran en buen estado, sin embargo existe una teja rota, y un lavamanos se encuentra dañado (rota la tubería de desagüe del lavamanos). Se encuentran en operación (Fotos 29 y 30).
- **Cunetas de agua lluvia:** corresponde a las cunetas perimetrales del área de oficinas. En general se encuentran en buen estado. Seringca hace mantenimiento durante 3 días cada mes. No existen apozamientos, y están en buen estado (Fotos 35 y 36).
- **Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas ARD:** corresponde a un sistema de humedales artificiales conformado por tres tanques sépticos prefabricado con polietileno y un sistema de láminas filtrantes. Los tanques sépticos están cubiertos por maleza y no se le ha hecho mantenimiento interno; al humedal artificial no se le realiza mantenimiento de las láminas filtrantes y el material vegetal que forma parte del humedal se encuentra seco, aunque el sistema de ARD se encuentra en operación, su nivel de utilización es muy bajo, razón por la cual no se pudo verificar la calidad de agua de salida del humedal artificial; además la eficiencia del proceso de purificación disminuye debido a la pérdida del material vegetal (Fotos 46 a 49).

### 6.2.3 Bodegas de reciclaje

Son 6 cuartos de almacenamiento de los cuales 2 poseen equipos de embalaje de canecas metálicas y latas y cartón los otros sirven para almacenamiento para materiales reciclables (Figura 6.3). Actualmente no se encuentran operando. Los equipos en general se encuentran en buen estado, según datos suministrados por SERINCA se realiza mantenimiento de preencendido y lubricación cada mes; aun así se observa que la compactadora de metales presenta un estado inicial de oxidación (Foto 32 y 55).

Los patios de maniobras y de reciclaje de alto volumen se encuentran en buen estado, y se pudo constatar que se realizó el retiro y envío de los materiales reciclables a las FMRS-CUS.

#### 6.2.4 Área de Incineración

El área de incineración es la conformada por: un cuarto de incineración, un tanque de combustible, equipos de incineración y tanque de cenizas.

El cuarto de incineración está construido en concreto y estructura metálica el cual se encuentra en buen estado. El tanque de combustible tiene una capacidad para 5.000 galones de ACPM y cuenta con un dique de contención perimetral en muro de concreto ambos en buen estado.

**Equipos de incineración:** son 2 equipos de incineración tipo TKF MODELO C-120 de 250 Kg/hora cada uno. Estos estaban provistos de un multiciclón para el control de emisiones, los cuales fueron desmontados por requisitos de seguridad, los cuales en la actualidad se encuentran totalmente oxidados (Fotos.37 a 45) (Figura 6.3). Los equipos de incineración y tanque de combustible no se trasladaron a las FMRS-CUS. Con respecto al cuarto de incineración, las persianas de las puertas se retiraron.

El tanque de cenizas se encuentra al 100 % de su capacidad, estas se mezclaron con cemento.

#### 6.2.5 Aspectos generales

- **Vías de acceso de la marginal al sitio en estudio:** el proyecto cuenta con una vía en buen estado de aproximadamente 700 metros, en afirmado con un ancho de 6.0 m, y cunetas en buen estado (Foto 0, 56).
- **Zona de relleno con material de excavación:** se ubico al occidente del relleno sanitario (etapa 1), este material se utiliza para el recubrimiento de celda, con una altura de 4 metros y un ángulo de talud de 55°, estable no se encuentra perfilado y se está revegetalizado naturalmente, no posee canales perimetrales.
- **Cuerpos de agua:** el predio limita por el norte con el cause de la quebrada Obsequia y hacia el sur y oriente con el cauce de la quebrada la Arenosa. No se observaron escurrimientos de lixiviados por influencia del relleno sanitario de Aguazul, debido a que las visitas se realizaron en época de verano.
- **Cerramiento perimetral:** esta conformado por 5 líneas de púas colocados en postes de concreto las cuales se encuentran en buen estado (Fotos 0 y 1).

#### 6.2.6 Evaluación de áreas protectoras ambientales (barreras vivas)

Existe un corredor ambiental vegetal a lo largo de las quebradas Obsequia y Arenosa, con una distancia del centro del cause hacia las FMRS-CUP de aproximadamente 15 metros, con árboles nativos. Esta barrera ambiental en alto grado mitiga los siguientes impactos provenientes del relleno sanitario de Aguazul: animales como roedores, insectos chulos, impacto paisajístico dentro de las FMRS-CUP.

En menor grado la barrera ambiental (cerca viva) mitiga los siguientes impactos: olores, impacto paisajístico en la vía de acceso que va hacia las FMRS-CUP.

### **6.2.7 Piezómetros**

Para el monitoreo del agua subterránea se construyeron 13 pozos distribuidos en toda el área del proyecto. Cuyo lugar de disposición depende de la ubicación del borde de las quebradas: los piezómetros fueron dispuestos de tal forma que la distancia al borde del valle de las quebradas fuese la mas corta (Figura 6.3) (Foto 50).

Otros piezómetros fueron dispuestos en sectores aledaños a las piscinas, a los hornos de incineración, casetas de reciclaje, oficina de administración, tanque de combustible y patios de maniobras.

La profundidad de los piezómetros se determinó de acuerdo con el nivel del fondo de las quebradas la Arenosa y Obsequia y teniendo en cuenta el nivel freático de la zona.

Se verificaron tapas y candados de los piezómetros de los cuales se pudo establecer que los piezómetros 6A, 6B y 8A se encontraban en buen estado y el resto se encontraban sin tapa y/o con los candados en mal estado.

### **6.2.8 Mantenimiento**

El programa de mantenimiento de la empresa SERINGCA, según información suministrada por uno de los ingenieros se hace durante tres días cada mes.

### **6.2.9 Energía eléctrica**

No existe energía debido a daños en un transformador y pararrayos (posiblemente por impacto de un rayo, según los vigilantes). Las carencias de energía impiden mantenimiento.

### **6.2.10 Evaluación de impactos por posible afectación del relleno sanitario de Aguazul hacia las FMRS-CUP**

**Evaluación de vectores** En la visita de campo no se detectaron vectores en la zona de estudio (Fotos 51 a 54), sin embargo existe un área de influencia directa, que corresponde al relleno sanitario de Aguazul, donde se identificaron los siguientes impactos:

**Tabla 6-1. Evaluación de impactos por posible afectación del relleno sanitario de Aguazul hacia las FMRS-CUP**

RECURSO AFECTADO	CONTAMINACIÓN	CAUSA	EFEECTO
Agua	Peligro de Contaminación por lixiviados del relleno de aguazul.	Generación asociado a la disposición de los residuos, su degradación e ingreso de agua lluvia en la masa del relleno y vertimiento de lixiviado sin tratamiento previo.	Genera lixiviados que contaminan: - El recurso hídrico de las quebradas la Arenosa y la Obsequia, las cuales circundan los dos rellenos. - Las aguas subterráneas cuyos niveles freáticos son altos en época de lata precipitación
Aire	Contaminación por olores provenientes del relleno sanitario de Aguazul.	Tiempos prolongados de exposición de los residuos sólidos a la intemperie, sin cobertura.	- Malos olores a las comunidades adyacentes al relleno de Aguazul, con mayor efecto en época de alta precipitación debido a mayor descomposición de los residuos por efecto de la humedad y temperatura.
Suelo, aire, agua y paisaje.	Peligro Contaminación por vectores en relleno sanitario de Aguazul.	Exposición de los residuos y deficiente colocación de cobertura diaria.	- Presencia de animales como roedores, insectos, chulos en el relleno sanitario de Aguazul.
Suelo, aire, agua y paisaje.	Peligro Contaminación por residuos plásticos.	Falta de selección de los residuos y mal manejo del relleno sanitario de Aguazul por tiempo prolongado en la cobertura de los residuos (15 días).	- Presencia de bolsas plásticas en la cobertura vegetal, en las ramas de los os árboles, en las vías de acceso y en los cuerpos de agua adyacentes al relleno sanitario de aguazul.
Paisaje	Contaminación paisajística.	Falta de selección de los residuos y mal manejo del relleno sanitario de Aguazul por tiempo prolongado en la cobertura de los residuos (15 días).	- Presencia de residuos plásticos, insectos roedores, chulos, residuos descubiertos.

Fuente: Los Autores. 2004.

### 6.3 EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO AMBIENTAL

A continuación se realiza una evaluación con respecto al cumplimiento de la Resolución 200-15-0297/02 de CORPORINOQUIA y al plan de CLAUSURA Y POST-CLAUSURA de GEOTEC LTDA.

#### 6.3.1 Evaluación de cumplimiento respecto a la autorización ambiental

A continuación se realiza una evaluación minuciosa de cumplimiento, de todos los requisitos establecidos por CORPORINOQUIA de acuerdo con la Resolución 200-15-0297/02.

Tabla 6-2. Lista de chequeo de evaluación de campo

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECTACIÓN
RELLENO SANITARIO	Cobertura Final 1.50	Capa de cobertura 0.15 m	No cumple: en algunos sectores no existe y en otros el espesor es bajo y no es uniforme	Apozamientos, rompimiento de geomembrana.	Infiltración de lixiviados
		Drenaje de cobertura ondulación, estancamiento	Presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía.	Apozamientos, rompimiento de geomembrana	Infiltración de lixiviados
		Estado	En mal estado	No se colocaron las capas con los lineamientos establecidos	Impide la revegetalización y facilita la infiltración de lixiviados.
		Recuperación natural	No existe capa de humus para recuperación (según parámetros de plan de postclausura Tabla 5.1 Geotéc Ing)	No se implementó	Impide la revegetalización y facilita la infiltración de lixiviados, aumenta la sedimentación de aguas de escorrentía por arrastre de sedimentos. Bajo espesor de la cobertura arcillosa y posible fracturamiento de geomembrana.
	Sistema de impermeabilización de fondo	Geomembrana Taludes y base	Ausencia de geomembrana en el talud aflorante	Sin razón aparente	Infiltración de aguas de escorrentía aumentando el volumen de lixiviados en época de alta precipitación.
	Filtro de Recolección de Lixiviados		Se encuentra en funcionamiento	NA	NA
	Sistema de Recirculación	Altura de la red de inyección.	No se pudo verificar, se encuentra interna en la celda.	NA	NA
		Estado Tubería de conducción	En buen estado, en general excepto tubería rota de recirculación.	Tubería Rota que conduce aguas de lixiviado del proceso de recirculación	No se puede realizar recirculación
		Estado Caja de derivación en concreto	Buen estado en general	NA	NA
		Estado Caseta de bombeo	No se ha operado la bomba de recirculación desde hace 2 años	Falta de mantenimiento	Obstrucción de equipos, rebosamiento en piscina de lixiviados en época de alta precipitación, contaminación de aguas de la quebrada.

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CPF DE CUIAGUA EN SU ETAPA DE POST-CLAUSURA**

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECTACIÓN
<b>RELLENO SANITARIO</b>	Piscina de almacenamiento de lixiviados 2,5 m Prof.	Estado Geomembrana	Buen estado		Evita infiltración de lixiviados
		Teja (material) evaporación, estado	Buen estado, se encontró que la teja era metálica y no transparente y/o geomembrana según Corporinoquia	NA	NA
		Capacidad de cobertura de la Teja,	Buena	NA	Evita infiltración de aguas lluvia en forma directa hacia la piscina de lixiviados.
		Sedimentos dentro de la piscina	Volumen mediano de sedimento (lodos) proveniente de la celda y algunos materiales como trozos de madera, animales, otros residuos.	Falta de mantenimiento.	Disminución de la capacidad de almacenamiento en volumen de la piscina. Posible obstrucción de las tuberías de conducción de lixiviados y obstrucción en el proceso de recirculación.
		Entrada de aguas lluvia	Se ha presentado reboce en la piscina de lixiviado en época de invierno.	Falta de canales perimetrales para conducción de aguas lluvia directamente a la quebrada. El proceso de recirculación no se encuentra en operación.	Reboce de lixiviados, contaminación de aguas de la quebrada.
		Estado de estructura metálica	Buen estado	NA	Evita infiltración de aguas lluvia
		Clausura de una de las piscinas	Se verificó clausura, sellado de tubo de lixiviados.	NA	NA
	Chimenea de gases	Estado y característica	En buen estado	NA	Permite la circulación de gases
		Terminación en tubería tipo cuello de ganso	Solamente cumple una de las chimeneas.	Infiltración de aguas lluvia	Aumenta el volumen de lixiviados
		Mantenimiento	Falta mantenimiento adecuado	Posibles obstrucciones en la salida de gases	Aumento de presión interna por efecto de acumulación de gases.
	Canal perimetral		Se observa falta de rejilla final en la caja de control de turbulencia.	Oxidación de la rejilla	Obstrucción de la caja por ausencia de un aditamento que impida la entrada de objetos o animales.
		Apozamientos	No existen apozamientos de agua, debido a que se cuenta con una buena pendiente de los mismos.	Flujo normal de aguas de escorrentía	Buen manejo de aguas lluvia y evita infiltración de aguas de escorrentía en el relleno sanitario.
		Operación	Se encuentra en operación		Flujo normal de aguas
		Estado	Se encuentran en buen estado		Flujo normal de aguas
		Mantenimiento	Deficiente, se acumulan pastos y hojarasca	Represa pequeñas cantidades de agua	Pequeños apozamientos que con el tiempo pueden degradar los canales perimetrales.

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECTACIÓN
<b>RELLENO SANITARIO</b>	Sistema de agua subsuperficial	Estado Bomba de abatimiento	Buen estado	Las escaleras internas del pozo de bombeo, presentan oxidación (Fotos 25 y 26)	Manejo de aguas subsuperficiales
		Estado de subdrenos	Buen estado en general	Falta de mantenimiento	NA
	Talud niveles 3 y 4	Agrotexil en el talud	Si hay presencia de agrotexil	Perfilado de talud es deficiente y pendiente fuerte.	La revegetalización no prosperó.
		Geotecnia del talud	Es estable en la actualidad el cual posee una altura máxima de 2.5 m y un ángulo de talud de 75° aproximadamente.	Es estable.	No presenta procesos de remoción en masa.
		Revegetalización	Revegetalizado naturalmente hacia el sector central del talud del relleno sanitario y descubierto hacia los sectores laterales.	Deficiencia en perfilado del talud	No se logró la revegetalización esperada
		Perfilado del talud	Se realizó un terráceo hacia el sector central y un perfilado hacia los sectores laterales	El perfilado no es suficiente y la pendiente del talud el fuerte.	No se logró la revegetalización esperada
Se empradizó mediante la siembra de estolones	No existió empradización del talud. Se observa arrastre del material del talud hacia el canal de manejo de aguas lluvias, localizado en la parte superior de la terraza. De material predominantemente arcilloso y con una longitud aproximada de 140 m	NA	NA		
<b>ÁREA DE ADMINISTRACIÓN</b>	Aljibe y Tanque de almacenamiento de agua	Estado del Aljibe	Buen estado, recubierto por vegetación nativa a su alrededor.	NA	Mantiene el nivel natural del agua.
		Estado del tanque	Tanque de concreto de 4,5 m3 en buen estado	NA	Reserva de agua
		Red de conducción	Tubería de pvc, hasta el tanque de almacenamiento localizado en la zona administrativa	NA	Conducción de agua
		Medidor	Cuenta con su respectivo medidor de flujo y tapa con candado	NA	Mide el flujo de agua

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECCIÓN
ÁREA DE ADMINISTRACIÓN	Oficinas, baños	Estado de oficinas y baños	Corresponde a tres habitaciones y dos baños en general se encuentran en buen estado, sin embargo existe una teja rota, además la tubería de desagüe de uno de los lavamanos se encuentra rota.	Mantenimiento deficiente	Infiltración de agua y deterioro de las instalaciones
		Operación	Se encuentra operando normalmente	NA	Contribuye al funcionamiento bajo normas de sanidad.
	Cunetas de aguas lluvia	Mantenimiento	De acuerdo con la información suministrada por SERINGCA, el mantenimiento se realiza durante 3 días cada mes	Mantenimiento deficiente	Puede causar Taponamiento de los ductos de aguas lluvias
		Acumulación de material vegetal seco	Se verificó la acumulación de alto volumen de material seco como hojas y pasto al interior de los canales perimetrales.	Mantenimiento deficiente	Puede causar Taponamiento de los ductos de aguas lluvias
		Apozamientos	No existen apozamientos	NA	Flujo normal
		Operación y estado	Se encuentran en buen estado y operando normalmente,	NA	Manejo de aguas lluvia
	Sistema de tratamiento de ARD.	Verificar limpieza de los 3 tanques sépticos prefabricados en polietileno.	Los tanque sépticos están cubiertos por maleza y no se le ha hecho mantenimiento interno	Mantenimiento deficiente	Lodos dentro de los tanques, los cuales degradan la calidad del sistema y aumentan la posibilidad de taponar las láminas filtrantes.
		Verificar limpieza de las láminas filtrantes	Al humedal artificial no se le realiza mantenimiento de las láminas filtrantes y el material vegetal que forma parte del humedal se encuentra seco.	Mantenimiento deficiente	La eficiencia del proceso de purificación disminuye por pérdida del material vegetal.
		operación	Se encuentra en operación	NA	NA
		Verificación de la calidad de agua de salida de humedal artificial	Aunque el sistema de ARD se encuentra en operación su nivel de utilización es muy bajo, razón por la cual no se pudo verificar la calidad de agua de salida del humedal artificial	NA	El proceso de purificación de aguas residuales, es posible que no sea el más apropiado por falta de mantenimiento.

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO DEL CPF DE CUIAGUA EN SU ETAPA DE POST-CLAUSURA**

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECTACIÓN
<b>BODEGAS DE RECICLAJE</b>	6 cuartos	Verificar retiro de los materiales reciclables envío, centros de reciclaje FMRS CUS	Si se efectuó	NA	NA
	Equipo de embalaje para cartón, canecas metálicas y lamina de aluminio (verificar traslado FMRS-CUS)	Estado	Actualmente no se encuentran operando. Los equipos en general se encuentran en buen estado, según datos suministrados por SERINGCA se realiza mantenimiento de preencendido y lubricación cada mes; aun así se observa que La compactadora de metales presenta un estado inicial de oxidación	Oxidación por afectación climática debido a la humedad	NA
	Patio de maniobras	Estado	Buen estado	Buen mantenimiento	Facilidad en la operación
	Patios de reciclaje de alto volumen	Estado	Buen estado	Buen mantenimiento	Facilidad en la operación
		Verificar retiro de los materiales reciclables envío FMRS CUS	Si se efectuó	NA	NA
<b>AREA DE INCINERACIÓN</b>	Cuarto de incineración	Verificar reparación de persianas de las dos puertas del área de incineración	Se retiraron las persianas.	Daños	Son necesarias por seguridad
		Zona de descarga y almacenamiento temporal	En buen estado	Buen mantenimiento	Facilidad en la Operación
	Tanque de combustible acpm, dique de contención	Verificar traslado a FMRS CUS	No se realizó traslado	NA	NA
		Verificar estado de dique de contención perimetral (en muro de concreto)	Buen estado	NA	Seguridad industrial
	Equipos de incineración Dos equipos	Verificar traslado FMRS CUS	No se efectuó	NA	NA
		Estado multiciclones.	Fueron desmontados por requisitos de seguridad, los cuales en la actualidad se encuentran totalmente oxidados	Corrosión	No se pueden utilizar los hornos
Tanque de cenizas	Estado de tanque	Colmatado por cenizas mezcladas con cemento.	NA	Ninguna	

AREA	ESTRUCTURA	CARACTERISTICA	DIAGNÓSTICO	CUAL ES LA CAUSA	AFECTACIÓN
ASPECTOS GENERALES	Vía de acceso de la marginal al proyecto	Verificar estado	Buen estado	Correcto mantenimiento	Fácil operación
	Vías internas	Verificar estado	Buen estado	Buen mantenimiento	Fácil operación
		Verificar cunetas	Buen estado	Buen mantenimiento	Buen manejo de aguas de escorrentía
	Zodme zona del relleno con material de excavación	Verificar perfilado empradización	Con una altura de 4 metros y un ángulo de talud de 55°, es estable, no se encuentra perfilado y se está revegetalizando naturalmente.	NA	NA
		Canales perimetrales	No existen. En la actualidad no son necesarios, pues el material para recubrimiento de celda se encuentra revegetalizado.	NA	NA
		Verificar utilización del zodme como cobertura final el relleno	Si se utilizó	NA	NA
	Cerramiento perimetral	Verificar estado. Postes en concreto, 6 líneas de púas Estado	Buen estado	Buen mantenimiento	Seguridad
		Evaluación de áreas protectoras ambientales (barreras vivas).	Si existe barrera ambiental	NA	La barrera ambiental mitiga impactos ambientales como: olores, impacto paisajístico, presencia de chulos, insectos y roedores.

Fuente: Los Autores.

**Tabla 6-3. Evaluación de cumplimiento respecto a la autorización ambiental**

**RESOLUCION 200-15-0297 DEL 12 DE JUNIO DE 2002 de CORPORINOQUIA**

	COMPROMISOS	CUMP *		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
1	No recepción de residuos sólidos en las instalaciones de FMRS CUP.	X		
2	Traslado de residuos sólidos generados en los campos Cupiagua y Piedemonte a las FMRS-CUS.	X		
3	Retiro de materiales reciclables presentes en las FMRS- CUP y traslado a FMRS-CUS.	X		
4.	Traslado de equipos de incineración (2) y embalaje (2) de FMRS-CUP a FMRS-CUS, previa adecuación de cuartos de incineración existentes en FMRS-CUS.		X	
5	Preparación de la infraestructura para la etapa de post-clausura.	X		
6	Incorporación de un vehículo para transporte de los residuos generados en el campo Cupiagua hasta las FMRS-CUS.	X		
7	Retirar todos los materiales reciclables presentes en las bodegas y patios de almacenamiento de gran volumen de FMRS-CUP hacia los centros de comercialización de las FMRS-CUS.	X		
8	Retirar las cenizas que se encuentren acumuladas en canecas de las FMRS-CUP hacia FMRS-CUS y disponerlas en una trinchera de seguridad.	X		
9	Empradizar el talud en terreno natural, aledaño al relleno sanitario de las FMRS-CUP.		X	El talud se encuentra desprovisto de cobertura vegetal.
10	Construir una cobertura final definitiva en el relleno sanitario de las FMRS-CUP utilizando el material sobrante de la excavación obtenido durante la construcción de la etapa 1 del relleno sanitario.		X	Se construyó cobertura final en el relleno sin parámetros previstos en el plan de Clausura y post-clausura
11	Realizar limpieza de los tanques sépticos que hacen parte del sistema de tratamiento de Aguas residuales domésticas en las FMRS-CUP. La limpieza debe realizarse por lo menos cada dos años.		X	La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales es baja por falta de mantenimiento
12	Realizar prolongación de las tuberías de las chimeneas, en cuello de ganso de las FMRS-CUP.		X	Las dos chimeneas no cuentan con esta especificación.
13	Las chimeneas se deben cubrir con la cobertura final del relleno.		X	

	COMPROMISOS	CUMP *		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
14	Reparar cubierta de la piscina 2 en geomembrana o teja transparente, en la cual debe existir ventilación por debajo de la geomembrana o teja.	X		Se construyó con teja de zinc.
15	Reparar estructura metálica de la piscina de lixiviados	X		
16	Sellar los tubos de entrada y salida de lixiviados hacia la piscina 1.	X		
17	Construir muro del vertedero de accesos presente en la cámara de derivación, que dirige el flujo hacia la piscina 1.		X	
18	Notificar a CORPORINOQUIA el uso definitivo del relleno, en el momento en que se decida el uso futuro dentro de las alternativas planteadas o dentro de una nueva alternativa.			No se ha decidido el uso futuro
19	Limpieza y retiro de sedimentos de canales de agua lluvia, cajas y pozos de inspección, los cuales pueden ser dispuestos en la zona de almacenamiento de la excavación del predio.		X	No se realizó ya que se selló la Piscina No. 2
20	Realizar disposición final de lixiviado mediante riego, siguiendo los criterios señalados en el plan de clausura.		X	Actualmente no se realiza tratamiento de lixiviados por esta técnica.
21	Mantenimiento y reparación de zonas verdes	X		
22	Mantenimiento y reparación del cerramiento perimetral	X		
23	Limpieza de tanque de agua localizado junto a la zona administrativa	X		
24	La frecuencia de mantenimiento podrá ser fijada de acuerdo con las necesidades e inspecciones ambientales que se realicen a las FMRS-CUP.	X		
25	Realizar monitoreo a las quebradas que circundan el área del proyecto	X		
26	Realizar monitoreo de aguas subterráneas anualmente, durante los dos primeros años después de realizada la clausura	X		
27	No realizar vertimiento de lixiviados	X		Se sucede reboce de lixiviados en las piscinas en época de alta precipitación.
28	Disponer lixiviados mediante evaporación. (No se requiere monitoreo de lixiviados durante la post-clausura).	X		Se realiza monitoreo.
29	No incinerar residuos durante la etapa de post-clausura	X		
30	Contar con instalaciones adecuadas para la disposición y manejo de los materiales de alto volumen en las FMRS-CUS.	X		

	COMPROMISOS	CUMP *		OBSERVACIÓN
		SI	NO	
31	Cumplir con todas las acciones y actividades propuestas en el plan de clausura y post-clausura de las FMRS-CUP.		X	
32	Ampliar e incrementar el área de lombricultura en las FMRS-CUS.	X		
33	El término de la aprobación del Plan de Clausura y post-clausura de las FMRS-CUP será de un año, contados a partir de la ejecutoria del presente acto administrativo. (2002-06-12 a 2003-06-12).			Posee una vigencia de 1 año, la cual ya se venció.
34	Aplicar Plan de Contingencia, en el evento que ocurran inconvenientes no previstos.	X		No han sucedido inconvenientes no previstos
35	Notificar a CORPORINOQUIA inconvenientes no previstos en las FMRS-CUP.	X		No han sucedido inconvenientes no previstos
36	Asumir responsabilidad por perjuicios derivados del incumplimiento de los términos, requisitos, condiciones, exigencias y obligaciones señalados en el estudio y en el acto administrativo.	X		
37	Notificar de inmediato a CORPORINOQUIA, el incumplimiento de los términos, requisitos, condiciones, exigencias y obligaciones señalados en el Estudio y en el Acto Administrativo.	X		Las notificaciones se han presentado a través de los informes de interventoría ambiental.
38	Presentar anualmente un informe debidamente analizado, evaluado y comparado con las normas.	X		
39	Realizar visita de control y seguimiento por parte de CORPORINOQUIA, cuando se estime pertinente, para verificar el cumplimiento de los lineamientos y recomendaciones contenidas en este acto Administrativo.	X		
40	Sufragar a favor de CORPORINOQUIA los gastos que ocasionen las visitas oculares de control y seguimiento, suma que deberá ser cancelada dentro los quince días siguientes a la notificación del acto administrativo.	X		
41	Resolución 0150 de 1998-03-31, se otorga concesión de aguas para uso doméstico, vigente hasta 2003-03	X		Actualmente no se hace uso del recurso ya que las FMRS-CUP se encuentran clausuradas.

CUMP: Cumplimiento. Indica si se ha cumplido o no con el compromiso.

Fuente: Los Autores. 2004.

### 6.3.2 Evaluación de cumplimiento respecto al Plan de Clausura y Post-clausura

A continuación se realiza una evaluación con respecto al cumplimiento del Plan de Clausura y Post-clausura elaborada por GEOTEC INGENIERIA LTDA.

**Tabla 6-4. Evaluación ambiental con respecto al plan de clausura y post-clausura**

	COMPROMISOS PLAN DE CLAUSURA	CUMPLIMIENTO		OBSERVACION
		SI	NO	
1	Traslado de residuos sólidos generados en los campos Cupiagua y Piedemonte a las FMRS-CUS.	X		
2	Retiro de materiales reciclables presentes en las FMRS- CUP y traslado a FMRS-CUS.	X		
3.	Traslado de equipos de incineración (2) y embalaje (2) de FMRS-CUP a FMRS-CUS, previa adecuación de cuartos de incineración existentes en FMRS-CUS.		X	El eventual traslado obedece a necesidades de disponer equipos de contingencia y no para atender necesidades actuales de incineración
4	Retirar todos los materiales reciclables presentes en las bodegas y patios de almacenamiento de gran volumen de FMRS-CUP hacia los centros de comercialización de las FMRS-CUS.	X		
5	Empradizar el talud en terreno natural, aledaño al relleno sanitario de las FMRS-CUP, el cual se encuentra desprovisto de cobertura vegetal.		X	
6	Construir una cobertura final definitiva en el relleno sanitario de las FMRS-CUP, de suelo arcilloso. En una capa de 0.50 m., dispuestos sobre la geomembrana, una capa de 0.10 m. de suelo orgánico, compost o humus; y una empradización.		X	Se Construyó cobertura final en el relleno sin parámetros previstos en el plan de Clausura y post-clausura
7	Realizar limpieza de los tanques sépticos que hacen parte del sistema de tratamiento de Aguas residuales domésticas en las FMRS-CUP. La limpieza debe realizarse por lo menos cada dos años.		X	La eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales es baja por falta de mantenimiento
8	Realizar prolongación de las tuberías de las chimeneas, en cuello de ganso de las FMRS-CUP.		X	
9	Las chimeneas se deben cubrir antes de aplicar la cobertura final, con plástico de polietileno. En la chimenea N° 1 la estructura de ladrillo sobresale 0.70m, en la N° 2 sobresale 1.40 m.		X	
10	Reparar cubierta de la piscina 2 en geomembrana o teja transparente, en la cual debe existir ventilación por debajo de la geomembrana o teja.	X		Se construyó con teja de zinc.

	COMPROMISOS PLAN DE CLAUSURA	CUMPLIMIENTO		OBSERVACION
		SI	NO	
11	Reparar estructura metálica de la piscina de lixiviados	X		
12	Realizar disposición final de lixiviado mediante riego, siguiendo los criterios señalados en el plan de clausura.		X	
13	Efectuar limpieza en el fondo de las piscinas de lixiviado, con el fin de retirar acumulación de sólidos en el fondo		X	
14	Mantenimiento y reparación del cerramiento perimetral	X		
16	La etapa 1 del relleno se debe perfilar y aplicar empradización		X	Esta actividad depende de la decisión sobre el uso futuro del relleno.
17	Limpiar la bodega de almacenamiento de residuos incinerables	X		
18	Retirar canecas, bouldroom y chatarra.	X		
19	Retirar protectores de tubería, previa evaluación de alternativas de reciclaje.		X	
20	Evacuar aguas de las piscinas previo monitoreo de ILAM y disponerlas en zonas verdes.	X		
21	Retirar y disponer las cenizas originadas en los incineradores y en el foso de quemado de madera hacia las IMIRS CUS.	X		
22	Realizar inspección final al estado de la geomembrana	X		La geomembrana presenta rupturas
23	Aseo general	X		Es necesario realizar mantenimiento con mayor frecuencia.
24	Colocar candados en los piezómetros y en la tapa del aljibe	X		Se realizó esta actividad pero no en todos los piezómetros
24	Instalar tapa de concreto en la caja de medidor de flujo del aljibe, para asegurarla	X		
25	Clausurar piscina N° 2.	X		
26	Reparar las dos persianas del área de incineración	X		Se retiraron
27	Revisión de bombas para verificar su estado		X	Las bombas no se han puesto a operar.
28	Verificar vigencia de extintores		X	
29	Verificar estado tanque de almacenamiento de Diesel.	X		
30	Verificar estado de Iluminación		X	No se han implementado acciones correctiva

Fuente: Los Autores

Teniendo en cuenta los resultados de la evaluación ambiental de cumplimiento respecto a la autoridad ambiental y al plan de Clausura y Post-clausura, entre otros, se definieron las conclusiones y recomendaciones de este estudio: Ver capítulos 7 y 8

## 6.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental se define como “Cualquier alteración significativa, positiva o negativa, de uno o mas de los componentes del medio ambiente y los recursos naturales, provocada por la acción humana y/o acontecimientos de la naturaleza.

En tal sentido el presente capítulo tiene por objeto describir y valorar cada uno de los impactos negativos y positivos causados por las actividades desarrolladas en las FMRS-CUP y su interacción con el relleno sanitario de Aguazul.

### 6.4.1 Metodología

La evaluación de impactos es una actividad compleja pero importante que implica la adopción de una metodología que permita establecer en términos relativos cuales son los impactos más relevantes causados por el proyecto. Igualmente permite establecer las actividades que mas impactan el medio ambiente, así como los componentes y elementos del ambiente más afectados.

La metodología seleccionada correspondió a la propuesta por Conesa (1997) adaptada al proyecto del FMRS-CUP. Si bien esta metodología se basa en valoraciones subjetivas de parte del experto temático, igualmente es considerada práctica en la medida en que permite identificar los impactos más relevantes (jerarquización) y las causas que lo producen, por lo que facilita la definición del plan de manejo ambiental correspondiente.

La identificación de impactos se ha basado en una superposición entre las actividades y los elementos del medio ambiente caracterizados en el presente documento. Cada uno de los impactos fueron valorados con base en la “Metodología de Conesa (1997)”.

En la Tabla 6-3 se presenta el procedimiento general empleado para la identificación y valoración de los impactos ambientales significativos del proyecto.

### 6.4.2 Definición de términos utilizados dentro de la evaluación

A continuación se presentan los términos más utilizados dentro del presente documento, con la definición de éstos, según el uso dado dentro de la evaluación de aspectos e impactos.

- **Actividades.** Es el conjunto de acciones y servicios que realiza la operadora del parque industrial y que tienen interacción con el medio ambiente.
- **Componentes Ambientales.** Los componentes ambientales a trabajar son: el físico, el biótico y el social; los cuales involucran variables que serán utilizadas como indicadoras de las modificaciones favorables o desfavorables del ambiente que causan las actividades del proyecto. Dichas variables son las que proporcionan la medida de la magnitud de un cambio, ya sea cualitativa o cuantitativamente.

- **Impacto.** Cambio favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de sus componentes, producto de una actividad dada. Es decir, es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro producto de la evolución natural y éste modificado por las actividades del proyecto.
- **Valoración del Cambio.** Consiste en transformar los cambios medidos en unidades heterogéneas de los componentes ambientales, en unidades homogéneas de impacto ambiental.

El objeto de la valoración de un aspecto o cambio ambiental es poder determinar el tipo de medida de manejo a realizar para evitarlos, mitigarlos, controlarlos o compensarlos y establecer las prioridades para dicho manejo, con base en la importancia del aspecto o impacto.

- **Significancia de un Impacto.** Es una valoración que da la ponderación del impacto. Expresa la importancia de la transformación que puede sufrir un componente ambiental en alguna de sus variables.

Hay que considerar siempre que bajo las condiciones ambientales del área donde se ubica el proyecto, los impactos pueden variar su importancia, según la época climática en que se desarrollen las actividades y las condiciones sociales y ambientales del sector donde se están realizando éstas.

#### 6.4.3 Criterios para la Valoración

Dentro de la metodología propuesta para la valoración de los impactos generados por el proyecto se seleccionaron los siguientes criterios, los cuales se basaron en la metodología de Conesa (1997).

##### **Cobertura o Area de Influencia (CO)**

Para poder dar elementos y establecer el área de influencia de un Proyecto dado es necesario definir claramente la diferencia entre área de estudio, área de interés y área de influencia.

**Area de Estudio:** Corresponde al área de referencia a estudiar para enmarcar el Proyecto en cuestión dentro de su entorno. Los criterios a considerar para su definición son: cuencas, límites departamentales, límites municipales, etnias, territorios legalmente constituidos, infraestructura, áreas de interés arqueológico y patrimonio cultural. Esta área de estudio generalmente es mayor al área a cartografiar en un proyecto dado.

- **Area de Interés:** Corresponde específicamente al área que interesa al Proyecto, tal como predio, vereda o instalación, según sea el alcance del Proyecto.
- **Area de Influencia:** Se refiere al área del entorno social y ambiental que en teoría se vería afectada por el impacto generado sobre una variable social o ambiental dada. La cobertura de los impactos depende mucho de las condiciones sociales y ambientales del área donde se desarrolla el Proyecto.

De acuerdo con lo anterior los impactos según su cobertura pueden ser puntuales, locales y regionales, donde el área específica de cobertura variará de acuerdo con la actividad del proyecto que se está analizando.

- **Puntual:** Se refiere a los impactos generados en el área directamente intervenida por el proyecto. En los componentes físico y biótico corresponde al área intervenida directamente para la construcción y operación, mientras que para el social correspondería a los predios donde se construye y opera dicha infraestructura. El área puntual se enmarca a los terrenos localizados dentro del parque Industrial.
- **Local o Parcial:** Se refiere a aquellos impactos que trascienden las áreas directamente intervenidas por el proyecto, sin llegar a abarcar la totalidad del área de estudio. En el caso del componente social se incluirían aquellos impactos de cobertura municipal.
- **Regional o Extremo:** Cuando el impacto social, físico o biótico abarca el área de estudio, considerando como área de estudio lo expuesto anteriormente.

### **Magnitud (MG)**

Se refiere al grado de la modificación que se produce sobre la variable ambiental considerada, teniendo en cuenta el estado en que se encuentra antes de producirse la actividad impactante. En el caso específico de la magnitud, ésta deberá clasificarse como **Baja, Media o Alta**; sin embargo, los criterios para establecer qué es Alta, Media o Baja son diferentes para cada variable a analizar, ya que mientras para estabilidad la medida serían los diferentes procesos geotécnicos posibles, para el estado de conservación de un ecosistema lo está determinando los diferentes niveles de fragmentación, para el aire, los decibeles, etc.

Lo anterior nos lleva a afirmar que para evaluar la magnitud de un impacto se deben tener muy bien definidos los indicadores a utilizar para detectar los posibles cambios de las diferentes variables socioambientales.

### **Persistencia (PE)**

Se refiere al tiempo que teóricamente permanece la alteración de la variable socioambiental que se está valorando, desde su aparición, y a partir del cual ésta comienza su proceso de recuperación, con o sin medidas de manejo. De acuerdo con este criterio, el impacto por su duración puede ser:

- **Fugaz:** Si el impacto persiste por menos de un (1) año.
- **Temporal:** si el impacto persiste por 1 a 3 años.
- **Permanente:** si el impacto persiste por un tiempo indefinido o mayor a 3 años.

## Resiliencia (RS)

Se refiere a la capacidad del medio socioambiental para asimilar naturalmente un cambio o impacto generado por una o varias actividades del proyecto, de forma que activa mecanismos de autodepuración o autorecuperación, sin la implementación de medidas de manejo, una vez desaparece la acción causante de la alteración.

El ejemplo clásico es el de la sucesión en los ecosistemas terrestres: cuando la cobertura vegetal es removida y las características del suelo no son seriamente afectadas, el área comienza a ser colonizada por especies denominadas pioneras, y con el transcurso del tiempo, retorna naturalmente a su estado anterior a la remoción de la vegetación. Si por el contrario, el área es compactada y cubierta por concreto el retorno a dicho estado natural es muy difícil.

Otro ejemplo es el de los cuerpos de agua que reciben un aporte de desechos orgánicos: las reacciones que allí se presentan, los caudales y la capacidad de asimilación de las comunidades allí presentes pueden hacer posible la autodepuración de sus aguas; sin embargo, dichos aportes pueden superar dicha capacidad de autodepuración, siendo necesarias las medidas de manejo para su recuperación.

De acuerdo con lo anterior, los criterios para definir la resiliencia del medio socioambiental son:

- **Reversible a Corto plazo:** la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir en menos de un (1) año.
- **Reversible a Mediano Plazo:** la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir entre un (1) año y cinco (5) años.
- **Reversible a Largo Plazo:** la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, se puede producir entre cinco (5) años y quince (15) años.
- **Irreversible:** la recuperación natural de la variable a su estado inicial, sin medidas de manejo, no es posible.

## Recuperabilidad (RE)

Se refiere a la posibilidad de que la alteración generada sobre una de las variables socioambientales por una acción dada se pueda eliminar por la **ejecución de medidas de manejo ambiental**. Los criterios a tener en cuenta para la recuperación están en función del tiempo requerido para esto, y son:

- **Recuperable a Corto Plazo:** el impacto se puede eliminar en un tiempo menor a un (1) año.
- **Recuperable a Mediano Plazo:** el impacto se puede eliminar en un tiempo entre un (1) año y tres (3) años.

- **Recuperable a Largo Plazo:** el impacto se puede eliminar en un tiempo entre cuatro (4) años y diez (10) años.
- **Mitigable:** el impacto no se puede eliminar pero su magnitud puede disminuirse por la ejecución de medidas correctoras.
- **Irrecuperable:** el impacto no se puede eliminar ni mitigar con medidas de manejo socioambiental. Corresponde a impactos que requieren compensación.

### Periodicidad (PE)

Se refiere a la aparición o permanencia de un impacto a lo largo de un periodo de tiempo. Este criterio es importante porque no es lo mismo un impacto que permanece en el tiempo que otro que se manifiesta esporádicamente. De acuerdo con esto, los impactos, según su periodicidad pueden ser:

- **Irregular:** el impacto se manifiesta esporádicamente y de forma imprevisible a lo largo de la duración del proyecto. Debido a su baja frecuencia permite la recuperación del medio entre cada aparición y con tendencia a estabilizarse en el tiempo.
- **Discontinuo:** el impacto se manifiesta de sin regularidad a lo largo de la duración del proyecto. Permite una recuperación de baja a moderada del medio y superior a impacto discontinuo.
- **Periódico:** el impacto se manifiesta de forma regular pero intermitente a lo largo de la duración del proyecto. La oportunidad de recuperación del medio ambiente es baja entre cada aparición.
- **Continuo:** el impacto se manifiesta constantemente o permanentemente a lo largo de la duración del proyecto. La oportunidad del medio a recuperarse es muy baja o nula.

### Tendencia (TD)

Da idea del incremento progresivo o no de la manifestación de la alteración sobre la o las variables socioambientales evaluadas, considerando la acción continuada y reiterada de la acción que lo genera en el área del Proyecto. De acuerdo con esto el impacto puede ser simple o acumulativo.

- **Simple:** Es el caso en que el impacto que se está evaluando se manifiesta sobre una sola variable ambiental, de forma tal que la acción reiterada que lo origina no incrementa progresivamente la magnitud del impacto, induciendo a nuevos impactos. Ejemplo: al requerirse tierra para construir un relleno, el uso del suelo varía y el que el proyecto permanezca allí no aumenta la magnitud del cambio del uso de esa tierra.

- **Acumulativo:** es el caso en que al prolongarse la acción generadora de un impacto sobre una variable, incrementa progresivamente su magnitud, ante la imposibilidad de que la variable afectada pueda recuperarse en la misma proporción que la acción se incrementa espacio-temporalmente.

Un ejemplo de un impacto acumulativo es la fragmentación de bosques, ya que si se construye una obra se genera un impacto simple, pero si se intensifican las obras a construir la fragmentación aumenta, siendo cada vez mayor la posibilidad de que se afecte la diversidad biológica del área.

### **Sinergia (SI)**

Se refiere al nivel de relación causa-efecto o la manifestación del efecto sobre una o mas variables socioambientales como consecuencia de una actividad.

- **No sinérgico:** Es cuando el impacto se genera sobre una variable socioambiental con consecuencias muy bajas sobre las demás variables socioambientales, es decir el impacto evaluado no genera nuevos impactos.

Un ejemplo de impacto No Sinérgico es la disposición de agua lluvia sobre el suelo en una zona donde el agua subsuperficial es escasa y no es utilizada por la población.

- **Sinérgico:** Es cuando el impacto que se está evaluando desencadena alteración en forma importante sobre otras variables socioambientales, por lo cual se originan múltiples impactos.

El ejemplo de impactos sinérgico son aquellos generados a partir de la pérdida de cobertura vegetal, como activación de procesos erosivos, arrastre de materiales a cuerpos de agua, lo cual a su vez afecta la calidad del agua y genera conflictos por el uso de ésta.

### **Importancia (I)**

La importancia de un impacto está determinada por la combinación de los criterios de calificación anteriormente descritos. Dicha importancia depende de la cobertura del impacto, su magnitud, su persistencia, etc. Razón por la cual se define como importancia el resultado de la suma de todos los criterios evaluados para cada impacto.

La importancia del impacto será la que permita clasificar los impactos para establecer el tipo de medida de manejo requerido y priorizar éstas. De acuerdo con lo anterior:

$$\text{Importancia (I)} = \text{CR} * (\text{CO} + \text{MG} + \text{DR} + \text{RS} + \text{RE} + \text{PE} + \text{TD} + \text{TI})$$

De aquí se destaca el carácter (CR) que indica si el impacto es positivo (+1) o Negativo (-1) cuanto causa una alteración que favorable o desfavorable para el medio ambiente.

#### 6.4.4 Sistema de Calificación

La valoración de los impactos es un procedimiento que permite de una forma ordenada y objetiva llegar a establecer la importancia de un impacto, y a partir de ésta, establecer el tipo de medidas de manejo socioambiental a tomar. Si la aplicación de los criterios de evaluación no se hace de forma objetiva la efectividad y priorización de dichas medidas puede verse afectada.

Por lo anterior, sólo si se han desarrollado objetivamente los pasos dados, explicando claramente porqué clasifica cada impacto en cada uno de los criterios dados, según las características técnicas y ambientales del área, se puede proceder a realizar la respectiva calificación.

En la Tabla 6-5 se presenta el sistema de calificación propuesto para la evaluación de los impactos. Según lo consignado en dicha tabla, dentro de cada criterio de calificación existe una valoración que oscila entre 1 y 25, donde 1 corresponde a un menor impacto y 25 al máximo posible.

Considerando los rangos establecidos, los valores dados a cada rango dentro de cada criterio de evaluación, y la fórmula establecida para el valor de la Importancia del Impacto, el menor valor posible es de 8 y el valor máximo sería de 100, que correspondería al máximo impacto. Partiendo de estos valores mínimo y máximo se establecieron rangos que corresponden a los diferentes tipos de importancia. Dichos rangos y tipos de importancia son:

- **Impactos Irrelevantes:** Impactos con Valor de Importancia menor a 25
- **Impactos Moderados:** Impactos con Valor de Importancia entre 26 y 55.
- **Impactos Importantes:** Impactos positivos con valor de Importancia entre 56 y 85.
- **Impactos Muy Importantes:** Impactos con valor de Importancia mayores a 85.

De acuerdo con lo anterior, los impactos negativos muy importantes no deben existir dentro de un proyecto y su presencia llevarían a evaluar, ya no el impacto en sí, sino la viabilidad socioambiental del Proyecto. Los impactos negativos importantes exigen medidas de manejo especiales, los impactos moderados requieren medidas de manejo específicas y los irrelevantes, medidas de manejo generales.

**Tabla 6-5. Parámetros de evaluación de los impactos**

PARÁMETRO	DESCRIPCION	CALIFICACION	VALOR
COBERTURA (CO)	Indica el área del entorno que se es afectada por el impacto.	PUNTUAL	1
		LOCAL	10
		REGIONAL	15
MAGNITUD (MG)	Mide el grado de alteración producido sobre el elemento ambiental, de acuerdo con sus condiciones iniciales.	BAJA	1
		MEDIA	15
		ALTA	25
PERSISTENCIA (PE)	Indica el tiempo de permanencia del impacto desde su aparición hasta su retorno a la condición inicial.	FUGAZ (1 Año)	1
		TEMPORAL (1 a 3 años)	5
		PERMANENTE (Mayor a 3 años)	10
RESILIENCIA (RE)	Indica la capacidad del medio a reconstruir el factor afectado por el proyecto o de retornar a las condiciones iniciales por medios naturales.	CORTO PLAZO (1 año)	1
		MEDIANO PLAZO (1 a 5 años)	2
		LARGO PLAZO (5 a 15 años)	5
		IRREVERSIBLE (Mayor a 15 años)	10
RECUPERABILIDAD (RC)	Indica la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto o de retornar a las condiciones iniciales por acciones del proyecto.	CORTO PLAZO (1 año)	1
		MEDIANO PLAZO (1 a 3 años)	2
		LARGO PLAZO (Mayor a 3)	5
		MITIGABLE	10
		IRRECUPERABLE (NUNCA)	15
PERIODICIDAD (PR)	Indica la regularidad con que se presenta el efecto que causa el impacto sobre el medio ambiente	IRREGULAR	1
		DISCONTINUO	5
		PERIODICO	10
		CONTINUO	15
TENDENCIA (TE)	Indica si el impacto causado es progresivo o no, cuando persiste la acción que los genera.	SIMPLE (No hay incremento progresivo)	1
		ACUMULATIVO (Hay incremento progresivo)	5
SINERGIA (SI)	Indica el grado de relación del impacto causado sobre otros impactos. Mide el grado de amplificación del impacto por su relación con los demás.	NO SINERGICO (Tiene baja relación con otros impactos)	1
		SINERGICO (Desencadena múltiples impactos sobre los componentes del ambiente)	5
IMPORTANCIA (I)	Indica la valoración ponderada del impacto teniendo en cuenta los demás parámetros de evaluación. $I = CR(CO+MG+PE+RE+RC+PR+TE+SI)$	IRRELEVANTE	Menor a 25
		MODERADO	26 a 55
		IMPORTANTE	56 a 85
		MUY IMPORTANTE	Mayor a 85
CARÁCTER (CR)	Indica si el impacto es benéfico (+) o perjudicial para el medio ambiente (-).		
	<i>Varía de 8 a 10</i>		

Fuente: "metodología Conesa 1997"

### 6.4.5 Resultados









A continuación se presentan los resultados en términos de matrices cualitativas y cuantitativas:

**MATRIZ 6.1**  
**EFFECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO EN SU ETAPA DE POSTCLAUSURA DE LAS FMRS-CUP**

FMRS-CUPIAGUA			FISICO										BIOTICO		SOCIOECONOMICO										
TEMÁTICA	INFRAESTRUCTURA	AREA/ACTIVIDAD	GEOSFERICO					ATMOSFERICO					HIDRICO	HIDROGEOLOGICO	VEGETACION	FAUNA	SOCIAL		ECONÓMICOS	BIENESTAR					
			Geotecnia	Procesos erosivos	Uso actual y potencial del suelo	Calidad del suelo	Paisaje	Gases de combustión	MP	Olores	Ruido	Calidad del agua superficial	Calidad de agua subterránea	Infiltración	Cobertura vegetal	Habitats	Conflictos		Empleo	Nivel de ingresos	Nivel de morbilidad	Calidad de vida			
Relleno Sanitario	Cobertura Final	Aplicación de la Capa de cobertura final		3	5		7						17	20	23	29	30					8			
		Mantenimiento y drenaje en cobertura final		4	6		8															3			
	Sistema de impermeabilización de fondo	Mantenimiento de geomembrana de taludes y base												24								1			
	Sistema de Recirculación	Mantenimiento operación de la red de recirculación de lixiviados											18	21	25							33	35	5	
	Sistema de evacuación de gases	Mantenimiento, operación control y monitoreo de gases						12															1		
	Piscina de almacenamiento de lixiviados	Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados								16			19	22	26								34	36	6
	Canales perimetrales	Mantenimiento												27										1	
	Sistema de agua subsuperficial	Mantenimiento y operación																						0	
	Taludes del relleno sanitario	Revegetalización y estabilización		1			9		13																3
	Aguas subterráneas	Monitoreo y control																							0
Administración	Aljibe y Tanque de almacenamiento de agua	Mantenimiento y operación																						0	
	Oficinas y baños	Mantenimiento y operación																						0	
	Cunetas de agua lluvia	Mantenimiento y operación												28										1	
	Sistema de tratamiento de ARD	Mantenimiento y operación					10																	1	
		Calidad de agua vertida																							0
Bodegas de Reciclaje	Equipos de embalaje	Mantenimiento																						0	
	Patios	Mantenimiento																						0	
Area de Incineración	Cuarto de incineración	Mantenimiento					11																	1	
	Tanque de combustible acpm dique de contención	Mantenimiento																						0	
	Equipos de incineración Dos equipos	Mantenimiento																						0	
	Tanque de cenizas	Mantenimiento																						0	
Aspectos Generales	Transporte	Transporte de personal de mantenimiento y celaduría							14															1	
	Vías de acceso	Mantenimiento, señalización							15															1	
	Zodme	Mantenimiento	2																					1	
	Control de aguas de quebradas	Monitoreo de calidad de agua de quebradas																						0	
	Estructura global de empleo																	31	32					2	
	Cerramiento	Mantenimiento																						0	
Monitoreo	Aguas superficiales y subterráneas	Toma de muestra																						0	
		Evaluación y análisis																						0	
Piezómetros		Mantenimiento																						0	
			2	2	2	0	5	1	3	1	0	3	3	6	1	1	0	1	1	1	2	2		36	
			11					5					3	9	2	1	1	4			36				
			28										2	6					36						

**MATRIZ 6.2**  
**CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS FMRS-CUP**

N	ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO	ACTIVIDAD	CR	CO	MG	PE	RE	RC	PR	TE	SI	I
1	GEOSFERICO	Inestabilidad de talud	Revegetalización y estabilización de taludes	-	1	15	5	2	5	15	5	1	-49
2			Mantenimiento del zodme	-	1	1	5	2	1	5	1	1	-17
3		Activación de procesos erosivos	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	15	5	5	2	10	5	5	-48
4			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-	1	15	5	5	2	10	5	5	-48
5		Alteración del uso actual y potencial del suelo	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	15	5	2	2	5	1	1	-32
6			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-	10	15	5	2	2	5	1	1	-41
7		Alteración del paisaje	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	15	5	2	2	5	1	1	-32
8			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-	1	15	5	2	2	5	1	1	-32
9			Revegetalización y estabilización de taludes	-	1	15	5	5	5	5	1	5	-42
10			Mantenimiento y operación del sistema ARD	-	1	15	5	2	2	10	1	5	-41
11			Mantenimiento del cuarto de incineración	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
12	ATMOSFERICO	Alteración de la calidad del aire por emisiones de gas	Mantenimiento operación, control y monitoreo de gases del relleno	-	1	1	1	1	2	1	1	1	-9
13		Alteración de la calidad del aire por emisiones de partículas suspendidas	Revegetalización y estabilización de taludes	-	1	1	5	1	2	5	1	1	-17
14			Transporte de personal de mantenimiento y celaduría	-	1	1	5	5	5	1	1	1	-20
15		Mantenimiento, señalización vías de acceso	-	1	1	5	5	5	1	1	1	-20	
16	Alteración de la calidad del aire por generación de olores	Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-	1	1	5	2	2	5	1	1	-18	
17	HIDRICO	Alteración de la calidad del agua superficial	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
18			Mantenimiento y operación Red de recirculación lixiviados	-	1	1	1	1	2	10	1	1	-18
19			Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-	10	1	1	1	2	10	5	1	-31
20	HIDROGEOLOGICO	Alteración de la calidad del agua subterránea	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	1	1	1	2	10	1	1	-18
21			Mantenimiento y operación de red de recirculación de lixiviados	-	1	1	1	1	2	10	1	1	-18
22		Alteración de la calidad del agua por infiltración de lixiviados	Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	-	10	1	1	1	2	5	1	1	-22
23			Aplicación de la capa de cobertura final	-	10	1	1	1	2	10	1	1	-27
24			Mantenimiento de geomembrana de taludes y base	-	10	1	1	1	2	10	1	1	-27
25			Mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados	-	10	1	1	1	2	10	1	1	-27
26			Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	-	10	1	1	1	2	10	1	1	-27
27			Mantenimiento de canales perimetrales	-	1	1	1	1	2	1	1	1	-9
28	Mantenimiento y operación de cunetas de Aguas lluvia	-	1	1	1	1	2	1	1	1	-9		
29	VEGETACIÓN	Alteración de la cobertura vegetal	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	15	5	2	5	5	1	1	-35
30	FAUNA	Perdida de hábitat	Aplicación de la capa de cobertura final	-	1	15	5	2	10	10	1	1	-45
31	SOCIAL	Generación de empleo	Estructura global de empleo	+	10	15	5	2	5	10	1	1	49
32	ECONOMICO	Incremento en el nivel de ingresos	Estructura global de empleo	+	10	15	5	2	5	10	1	1	49
33	BIENESTAR	Afectación del nivel de Morbilidad	Mantenimiento y operación Red de recirculación lixiviados	-	10	1	1	1	1	5	1	1	-21
34			Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-	10	1	1	1	1	5	1	1	-21
35		Mejoramiento de la calidad de vida	Mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados	+	10	15	5	2	5	10	1	1	49
36			Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	+	10	15	5	2	5	10	1	1	49

	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
IRRELEVANTE (Menor a 25)		
MODERADO (26 a 55)		
IMPORTANTE (56 a 85)		
MUY IMPORTANTE (Mayor a 85)		



**MATRIZ 6.4**  
**DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LAS FMRS-CUP**









N	ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO	ACTIVIDAD	I	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN	
1	GEOSFÉRICO	Inestabilidad de talud	Revegetalización y estabilización de taludes	-49	La revegetalización del talud no prospero, pues aunque hay presencia de agrotexil el Perfilado de talud es deficiente, y su pendiente es muy fuerte. En actualidad el talud estable, aunque se observa arrastre del material del talud hacia el canal de manejo de aguas lluvia (susceptible a la erosión).	Empradizar por medio de agrotexil o cespedón el talud del relleno sanitario, previo perfilado del mismo.	
2			Mantenimiento del zodme	-17	Es estable, no se encuentra perfilado y se está revegetalizando naturalmente.	Se recomienda utilizarlo en mayor magnitud, para la capa de cobertura final, de tal manera que se de cumplimiento a los lineamientos establecidos en el plan de clausura y postclausura y en la resolución de Corporinoquia (0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia).	
3		Activación de procesos erosivos	Aplicación de la capa de cobertura final	-48	Debido a que la cobertura final en algunos sectores no existe y en otros el espesor es bajo y no es uniforme, se presentan alteraciones en la capa por escorrentías superficiales difusas que generan procesos erosivos y aumento en los niveles de sedimentación	Construir una cobertura final definitiva, utilizando el ZODME, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de clausura, postclausura y resolución 0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia	
4			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-48	Presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial, ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía, lo cual causa procesos erosivos.		
5		Alteración del uso actual y potencial del suelo	Aplicación de la capa de cobertura final	-32	Areas anteriormente cultivables y/o de uso pecuario, las cuales fueron alteradas por la construcción del relleno. La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura final son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno.		
6			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-41			
7		Alteración del paisaje	Aplicación de la capa de cobertura final	-32	Existe afectación Paisajística, por la ausencia, falta de uniformidad en el espesor de la cobertura final en la etapa 1, que ha impedido la revegetalización.		
8			Mantenimiento y drenaje de la cobertura final	-32			
9			Revegetalización y estabilización de taludes	-42	Existe afectación paisajística, originada por la falta de revegetalización del talud y susceptibilidad a generar procesos de remoción en masa.		Empradizar por medio de agrotexil o cespedón el talud del relleno sanitario, previo perfilado del mismo.
10			Mantenimiento y operación del sistema ARD	-41	La afectación del paisaje no se sucede en gran magnitud, sin embargo el material vegetal de humedal se encuentra seco y en algunos sectores desapareció; lo que causa impacto visual.		Se recomienda realizar mantenimiento a las láminas filtrantes del humedal artificial y hacer mayor uso del sistema de unidades sanitarias, con el fin de evitar el deterioro de material vegetal y así poder contar con la eficiencia ideal del sistema de ARD.
11			Mantenimiento de las chimeneas, ciclones y multiciclones del equipo de incineración.	-8	Existe impacto visual por el deterioro de los equipos de incineración, ubicados en el patio de operación.		Se recomienda la disposición las chimeneas, ciclones y multiciclones, como material de reciclaje, debido a su alto grado de oxidación, corrosión y deterioro
12	ATMOSFÉRICO	Alteración de la calidad del aire por emisiones de gas	Mantenimiento operación, control y monitoreo de gases del relleno	-9	Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de monitoreo de los gases de las chimeneas: metano, el impacto que se genera es muy bajo.		NA
13		Alteración de la calidad del aire por aporte de material particulado.	Revegetalización y estabilización de taludes	-17	Debido a la falta de cobertura vegetal, se origina material particulado en bajas cantidades		Empradizar por medio de agrotexil o cespedón el talud del relleno sanitario, previo perfilado del mismo.
14			Transporte de personal de mantenimiento y celaduría	-20	Esta actividad no tiene una alta incidencia, en el aporte de material particulado, debido a el bajo flujo vehicular y al estado de la vía	NA	
15			Mantenimiento, señalización vías de acceso	-20			
16		Alteración de la calidad del aire por generación de olores	Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-18	Esta actividad no tiene una alta incidencia	Se recomienda realizar recirculación de los lixiviados y mantenimiento de la piscina	
17	HIDRICO	Alteración de la calidad del agua superficial	Aplicación de la capa de cobertura final	-8	Presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial, ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía, lo cual causa apozamientos, rompimiento de geomembrana e infiltración de aguas lluvia, esto ocasiona el aumento de lixiviados. Adicionalmente la falta de mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados, causa rebose de la piscina en época de alta precipitación.	Construir una cobertura final definitiva, utilizando el ZODME, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de clausura, postclausura y resolución 0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia	
18			Mantenimiento y operación Red de recirculación lixiviados	-18		Teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado, por lo cual se evidencia muy baja susceptibilidad a contaminar las aguas subterráneas y superficiales. es necesario realizar mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados periódicamente con el fin de evitar su deterioro.	
19			Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-31	No se realiza limpieza de piscina de lixiviados, esto contribuye al rebose en época de alta precipitación, además de vertimiento de lixiviados (teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado)	Limpieza y retiro de sedimentos de la piscina de lixiviados, los cuales pueden ser dispuestos en la zona de almacenamiento de la excavación del predio.	

**MATRIZ 6.4**  
**DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LAS FMRS-CUP**

N	ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO	ACTIVIDAD	I	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN
20	HIDROGEOLOGICO	Alteración de la calidad del agua subterránea	Aplicación de la capa de cobertura final	-18	Presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial, ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía, lo cual causa apozamientos, rompimiento de geomembrana e infiltración de aguas lluvia, esto ocasiona el aumento de lixiviados. Adicionalmente la falta de mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados, causa reboso de la piscina en época de alta precipitación. Sin embargo la afectación por contaminación que pueda generarse a nivel de agua subterránea es muy baja (según datos de monitoreo).	Construir una cobertura final definitiva, utilizando el ZODME, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de clausura, postclausura y resolución 0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia
21			Mantenimiento y operación de red de recirculación de lixiviados	-18		Teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado, por lo cual se evidencia muy baja susceptibilidad a contaminar las aguas subterráneas y superficiales. es necesario realizar mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados periódicamente con el fin de evitar su deterioro.
22			Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	-22	no se realiza limpieza de piscina de lixiviados, esto contribuye al reboso en época de alta precipitación, además de vertimiento de lixiviados (teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado)	Limpieza y retiro de sedimentos de la piscina de lixiviados, los cuales pueden ser dispuestos en la zona de almacenamiento de la excavación del predio.
23		Alteración de la calidad del agua por infiltración de lixiviados	Aplicación de la capa de cobertura final	-27	Presenta ondulaciones y no existe un drenaje preferencial, ni pendiente para evacuación de aguas de escorrentía, lo cual causa apozamientos, rompimiento de geomembrana e infiltración de aguas lluvia, esto ocasiona el aumento de lixiviados. Es importante agregar que la infiltración por el tipo de material rocoso es alta, sin embargo el poder contaminante del lixiviado es bajo.	Construir una cobertura final definitiva, utilizando el ZODME, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de clausura, postclausura y resolución 0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia
24			Mantenimiento de geomembrana de taludes y base	-27	Ausencia de geomembrana en el talud aflorante, sin razón aparente; esto genera Infiltración de aguas de escorrentía dentro del relleno y aumento de volumen de lixiviados; lo cual posibilita la infiltración de lixiviado en forma directa al cuaternario aluvial (depósito permeable); sin embargo el monitoreo de lixiviados revela el bajo poder contaminante.	Es importante instalar la geomembrana faltante, mediante sellamiento, con el fin de garantizar la impermeabilidad de la etapa 1 del relleno sanitario.
25			Mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados	-27	No se realiza limpieza de piscina de lixiviados, esto contribuye al reboso en época de alta precipitación, además de vertimiento de lixiviados (teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado lo cual muestra el bajo poder contaminante del lixiviado)	Limpieza y retiro de sedimentos de la piscina de lixiviados, los cuales pueden ser dispuestos en la zona de almacenamiento de la excavación del predio.
26			Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	-27	No se realiza limpieza de piscina de lixiviados, esto contribuye al reboso en época de alta precipitación, además de vertimiento de lixiviados (teniendo en cuenta el monitoreo de lixiviados, se manifiesta un poder contaminante atípico bajo del lixiviado)	
27			Mantenimiento de canales perimetrales	-9	Esta actividades no tienen una influencia directa y significativa en la alteración de la calidad del agua en época de verano. Sin embargo en época de alta precipitación podría presentarse reboso de aguas lluvia sobre el relleno sanitario.	Limpieza y retiro de sedimentos de canales perimetrales, canales de agua lluvia, cajas y pozos de inyección, los cuales pueden ser dispuestos en el ZODME.
28	mantenimiento y operación de cunetas de Aguas lluvia	-9				

**MATRIZ 6.4**  
**DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LAS FMRS-CUP**

N	ELEMENTO AMBIENTAL	IMPACTO	ACTIVIDAD	I	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN
29	VEGETACIÓN	Alteración de la cobertura vegetal	Aplicación de la capa de cobertura final	-35	En algunos sectores no existe capa de cobertura y en otros el espesor es bajo y no es uniforme. No existe capa de humus para revegetalización, según parámetros del plan de postclausura. Esto dificulta la posibilidad de repoblación del hábitat natural.	Construir una cobertura final definitiva, utilizando el ZODME, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de clausura, postclausura y resolución 0753 de agosto de 1998 de Corporinoquia, lo cual incluye una capa de humus y revegetalización.
30	FAUNA	Perdida de hábitat	Aplicación de la capa de cobertura final	-45		
31	SOCIAL	Generación de empleo	Estructura global de empleo	49	Es importante ver como el mantenimiento del relleno sanitario aún en su etapa de Post Clausura impacta de una manera relevante y positiva el proyecto, aunque en este momento no se cuenta con alto número de personal operador para el mismo. Lo anterior contribuye también a una mejora en el nivel de ingresos de sus trabajadores.	Se recomienda en lo posible, mantener y aumentar las actividades de mantenimiento para conservar el impacto positivo de estos factores.
32	ECONOMICO	Incremento en el nivel de ingresos	Estructura global de empleo	49		
33	BIENESTAR	Afectación del nivel de Morbilidad	Mantenimiento y operación Red de recirculación lixiviados	-21	Estas actividades no afectan de manera significativa el nivel de morbilidad de los operadores.	NA
34			Mantenimiento y operación piscina de lixiviados	-21		
35		Mejoramiento de la calidad de vida	Mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados	49	Es importante ver como el mantenimiento del relleno sanitario aún en su etapa de Post Clausura impacta de una manera relevante y positiva el proyecto, aunque en este momento no se cuenta con alto número de personal operador para el mismo. Lo anterior contribuye también a una mejora en el nivel de ingresos de sus trabajadores.	
36			Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados	49		









	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
IRRELEVANTE (Menor a 25)		
MODERADO (26 a 55)		
IMPORTANTE (56 a 85)		
MUY IMPORTANTE (Mayor a 85)		

**MATRIZ 6.5**  
**EFFECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO EN SU ETAPA DE POSTCLAUSURA-AGUAZUL**

FMRS-CUIAGUA		FISICO											BIOTICO		SOCIOECONOMICO						
TEMÁTICA	INFRAESTRUCTURA	AREA/ACTIVIDAD	GEOSFERICO				ATMOSFERICO				HIDRICO	HIDROGEOLOGICO			VEGETACION	FAUNA	SOCIAL		ECONÓMICOS	BIENESTAR	
			Geotecnia	Procesos erosivos	Uso actual y potencial del suelo	Paisaje	Gases de combustión	MP	Olores	Ruido	Calidad del agua superficial	Calidad de agua subterránea	Infiltración	Cobertura vegetal	Habitats	Conflictos	Empleo	Nivel de ingresos	Nivel de morbilidad	Calidad de vida	
OPERATIVA	Relleno Sanitario	Aplicación de la Capa de cobertura final	1	2	4	7	9	12	15		20	23	26		29	32			40	44	14
		Mantenimiento y drenaje en cobertura final		3	5	8		13	16		21	24	27		30	33			41	45	12
		Mantenimiento de geomembrana de taludes y base			6				17		22	25	28		31	34			42	46	9
		Mantenimiento operación de la red de recirculación de lixiviados																			
	Aspectos Generales	Mantenimiento, operación control y monitoreo de gases					10	14		18								37		47	5
		Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados																			
		Mantenimiento																38			1
		Mantenimiento y operación					11			19						35	36	39	43	48	7
FRECUENCIA			1	2	3	2	3	3	3	2	3	3	3	0	3	4	1	3	4	5	48
			8				11				3	6			3	5		3	9		48
			28											3	17					48	









**MATRIZ 6.6**  
**CUANTIFICACIÓN DE IMPACTOS PARA RELLENO SANITARIO AGUAZUL**

N	ETAPA DEL PROYECTO	IMPACTO	ACTIVIDAD	CR	CO	MG	PE	RE	RC	PR	TE	SI	I
1	OPERACIÓN	Inestabilidad del talud	Manejo y disposición final de residuos	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
2		Generación de procesos erosivos	Manejo y disposición final de residuos	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
3		Manejo de cobertura diaria	-	1	1	5	1	1	1	1	1	1	-12
4		Alteración de uso actual y potencial del suelo	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	10	5	2	15	1	1	-59
5		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	10	5	2	15	1	1	1	-59
6		Manejo de lixiviados	-	10	1	10	5	2	10	1	1	1	-40
7		Alteración del paisaje	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	10	2	2	15	5	1	-60
8		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	10	2	2	15	5	1	1	-60
9		Alteración de la calidad del aire por emisión de gases	Manejo y disposición final de residuos	-	10	1	1	1	1	15	1	1	-31
10		Transporte materiales y personas	-	10	1	1	1	1	1	10	1	1	-26
11		Operación global	-	10	1	1	1	1	1	15	1	1	-31
12		Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	1	1	1	15	1	1	-45
13		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	1	1	1	1	15	1	1	-45
14		Transporte materiales y personas	-	10	15	1	1	1	1	1	1	1	-31
15		Alteración de la calidad del aire por generación de olores	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	5	1	1	10	1	1	-44
16		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	5	1	1	1	10	1	1	-44
17		Manejo de lixiviados	-	1	1	5	1	1	10	1	1	1	-21
18		Alteración de la calidad del aire por generación de ruido	Transporte materiales y personas	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
19		Operación global	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-8
20		Alteración de la calidad del agua superficial por contaminación	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	1	2	2	10	5	5	-50
21		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	1	2	2	10	5	5	5	-50
22		Manejo de lixiviados	-	10	15	1	2	2	10	5	5	5	-50
23		Alteración de la calidad del agua subterránea por contaminación	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	5	2	2	10	5	5	-54
24		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	5	2	2	10	5	5	5	-54
25		Manejo de lixiviados	-	10	15	5	2	2	10	5	5	5	-49
26		Alteración la calidad de agua subterránea por alto grado de infiltración	Manejo y disposición final de residuos	-	10	15	5	2	2	10	5	5	-54
27		Manejo de cobertura diaria	-	10	15	5	2	2	10	5	5	5	-54
28		Manejo de lixiviados	-	10	15	5	2	2	10	5	5	5	-54
29		Alteración de la fauna por afectación del hábitat.	Manejo y disposición final de residuos	-	10	1	5	2	2	10	1	5	-36
30		Manejo de cobertura diaria	-	10	1	5	5	5	5	10	1	5	-42
31		Manejo de lixiviados	-	10	1	5	5	5	5	10	1	5	-42
32		Afectación de la comunidad aledaña	Conflictos por manejo y disposición final de residuos	-	10	15	5	5	5	15	5	5	-65
33		Conflictos por manejo de cobertura diaria	-	10	15	5	5	5	5	15	5	5	-65
34		Conflictos por manejo de lixiviados	-	10	15	5	5	5	5	10	5	5	-60
35		Conflictos por operación global	-	10	15	5	5	5	5	15	5	5	-65
36		Generación de empleo	Operación global	+	10	15	5	5	5	10	5	1	56
37		Transporte materiales y personas	+	10	15	5	5	5	5	10	1	1	52
38		Aumento en el nivel de ingresos	Suministro de personal	+	10	15	5	5	5	10	1	1	52
39		Operación global	+	10	15	5	5	5	5	10	1	1	52
40		Aumento en los niveles de orbilidad	Manejo y disposición final de residuos	-	1	1	5	1	1	1	1	1	-12
41		Manejo de cobertura diaria	-	1	1	5	1	1	1	1	1	1	-12
42		Manejo de lixiviados	-	1	1	5	1	1	1	1	1	1	-12
43		Operación global	-	1	1	5	1	1	1	1	1	1	-12
44		Alteración de la calidad de vida	Manejo y disposición final de residuos	-	10	1	5	1	1	5	1	1	-25
45		Manejo de cobertura diaria	-	10	1	5	1	1	1	5	1	1	-25
46		Manejo de lixiviados	-	10	1	5	1	1	1	5	1	1	-25
47		Transporte materiales y personas	+	10	15	5	5	5	5	5	1	1	47
48		Operación global	-	10	1	5	1	1	1	1	1	1	-21

	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
IRRELEVANTE (Menor a 25)		
MODERADO (26 a 55)		
IMPORTANTE (56 a 85)		
MUY IMPORTANTE (Mayor a 85)		

**MATRIZ 6.7  
RESUMEN EFECTOS AMBIENTALES EN RELLENO AGUAZUL**

FMRS-CUPIAGUA			FISICO										BIOTICO		SOCIOECONOMICO								
TEMÁTICA	INFRAESTRUCTURA	AREA/ACTIVIDAD	GEOSFERICO				ATMOSFERICO				HIDRICO	HIDROGEOLOGICO		VEGETACION	FAUNA	SOCIAL		ECONÓMICOS	BIENESTAR				
			Geotecnia	Procesos erosivos	Uso actual y potencial del suelo	Paisaje	Gases de combustión	MIP	Olores	Ruido	Calidad del agua superficial	Calidad de agua subterránea	Infiltración	Cobertura vegetal	Habitats	Conflictos	Empleo	Nivel de ingresos	Nivel de morbilidad	Calidad de vida			
OPERATIVA	Relleno Sanitario	Aplicación de la Capa de cobertura final	-8	-8	-59	-60	-31	-45	-44		-50	-54	-54		-36	-65		-12	-25	-551			
		Mantenimiento y drenaje en cobertura final		-12	-59	-60		-45	-44		-50	-54	-54		-42	-65		-12	-25	-522			
		Mantenimiento de geomembrana de taludes y base			-40				-21		-50	-49	-54		-42	-60		-12	-25	-353			
		Mantenimiento operación de la red de recirculación de lixiviados																		0			
	Aspectos Generales	Mantenimiento, operación control y monitoréo de gases					-26	-31		-8										52		47	34
		Mantenimiento y operación de la piscina de lixiviados																					0
		Mantenimiento																					52
		Mantenimiento y operación					-31			-8						-65	56	52	-12	-21	-29		
FRECUENCIA			-8	-20	-158	-120	-88	-121	-109	-16	-150	-157	-162		-120	-255	56	156	-48	-49	-1369		
			-306				-334				-150	-319		-120	-199		156	-97		-1369			
			-1109										-120		-140			-1369					









	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
IRRELEVANTE (Menor a 25)		
MODERADO (26 a 55)		
IMPORTANTE (56 a 85)		
MUY IMPORTANTE (Mayor a 85)		

**MATRIZ 6.8**  
**DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LAS RELLENO AGUAZUL**

N	ETAPA DEL PROYECTO	IMPACTO	ACTIVIDAD	I	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN
1	OPERACIÓN	Inestabilidad del talud	Manejo y disposición final de residuos	-8	La inadecuada disposición de los residuos en el relleno de Aguazul, genera procesos de inestabilidad y procesos erosivos, que alteran en bajo grado el relleno sanitario de Cupiagua. Al generarse el proceso de inestabilidad dentro de los residuos, junto con la alta precipitación de la zona, hace que de desplacen los residuos hacia la quebrada, alterando la energía( régimen de velocidad) de la quebrada la Arenosa, causando socavación.	Se recomienda para el relleno sanitario de Aguazul, realizar un manejo integral de residuos sólidos, que incluya: Correcta y completa separación de residuos; reciclaje, compostaje (o cualquier otra técnica que genere abono orgánico), manejo técnico del relleno sanitario con cobertura diaria de residuos, recirculación de lixiviados, manejo de aguas lluvias, aguas subterráneas, correcto manejo paisajístico, aseguramiento de manejo de vectores, entre otros.
2		Generación de procesos erosivos	Manejo y disposición final de residuos	-8		
3			Manejo de cobertura diaria	-12		
4		Alteración de uso actual y potencial del suelo	Manejo y disposición final de residuos	-59	Areas anteriormente cultivables y/o de uso pecuario, las cuales fueron alteradas por la construcción del relleno. La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno.	
5			Manejo de cobertura diaria	-59		
6			Manejo de lixiviados	-40		
7		Alteración del paisaje	Manejo y disposición final de residuos	-60	El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
8			Manejo de cobertura diaria	-60		
9		Alteración de la calidad del aire por emisión de gases	Manejo y disposición final de residuos	-31	El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
10			Transporte materiales y personas	-26		
11			Operación global	-31		
12		Alteración de la calidad del aire por generación de material particulado	Manejo y disposición final de residuos	-45	El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
13			Manejo de cobertura diaria	-45		
14			Transporte materiales y personas	-31		
15		Alteración de la calidad del aire por generación de olores	Manejo y disposición final de residuos	-44	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
16			Manejo de cobertura diaria	-44		
17			Manejo de lixiviados	-21		
18		Alteración de la calidad del aire por generación de ruido	Transporte materiales y personas	-8	Estas actividades causan un impacto negativo irrelevante en la operación del relleno.	
19			Operación global	-8		
20		Alteración de la calidad del agua superficial por contaminación	Manejo y disposición final de residuos	-50	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
21			Manejo de cobertura diaria	-50		
22			Manejo de lixiviados	-50		
23		Alteración de la calidad del agua subterránea por contaminación	Manejo y disposición final de residuos	-54	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
24			Manejo de cobertura diaria	-54		
25			Manejo de lixiviados	-49		
26		Alteración la calidad de agua subterránea por alto grado de infiltración	Manejo y disposición final de residuos	-54	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
27			Manejo de cobertura diaria	-54		
28			Manejo de lixiviados	-54		
29		Alteración de la fauna por afectación del hábitat.	Manejo y disposición final de residuos	-36	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
30			Manejo de cobertura diaria	-42		
31			Manejo de lixiviados	-42		
32		Afectación de la comunidad aledaña	Conflictos por manejo y disposición final de residuos	-65	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	
33	Conflictos por manejo de cobertura diaria		-65			
34	Conflictos por manejo de lixiviados		-60			
35	Conflictos por operación global		-65			

**MATRIZ 6.8**  
**DESCRIPCIÓN Y RECOMENDACIONES PARA LAS RELLENO AGUAZUL**

N	ETAPA DEL PROYECTO	IMPACTO	ACTIVIDAD	I	DESCRIPCIÓN	RECOMENDACIÓN
36	OPERACIÓN	Generación de empleo	Operación global	56	El mantenimiento del relleno sanitario impacta de una manera relevante y positiva el proyecto. Lo anterior contribuye a mejorar en el nivel de ingresos de sus trabajadores.	Se recomienda aumentar la cantidad de operadores con el fin de realizar el manejo integral de residuos sólidos de forma técnica y hacer un aprovechamiento sostenible, lo cual conlleva a el mejoramiento de la calidad de vida.
37		Aumento en el nivel de ingresos	Transporte materiales y personas	52		
38			Suministro de personal	52		
39			Operación global	52		
40		Aumento en los niveles de morbilidad	Manejo y disposición final de residuos	-12	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	Se recomienda para el relleno sanitario de Aguazul, realizar un manejo integral de residuos sólidos, que incluya: Correcta y completa separación de residuos; reciclaje, compostaje (o cualquier otra técnica que genere abono orgánico), manejo técnico del relleno sanitario con cobertura diaria de residuos, recirculación de lixiviados, manejo de aguas lluvias, aguas subterráneas, correcto manejo paisajístico, aseguramiento de manejo de vectores, entre otros.
41			Manejo de cobertura diaria	-12		
42			Manejo de lixiviados	-12		
43			Operación global	-12		
44		Alteración de la calidad de vida	Manejo y disposición final de residuos	-25	El transporte hacia el relleno sanitario impacta de una manera relevante y positiva el proyecto. Lo anterior contribuye a mejorar en el nivel de ingresos de sus trabajadores.	Se recomienda aumentar la cantidad de operadores y con ello se aumenta el flujo vehicular, mejorando el nivel económico y social de los operadores.
45			Manejo de cobertura diaria	-25		
46			Manejo de lixiviados	-25		
47		Alteración de la calidad de vida	Transporte materiales y personas	47	La aplicación de la cobertura final y los drenajes dentro de la cobertura diaria son muy importantes para mitigar estos impactos, con el fin de recomendar un uso futuro al relleno. El manejo inadecuado de los residuos, ha generado un Impacto negativo importante con respecto al relleno sanitario de Cupiagua y todas sus zonas aledañas, pues se evidencian entre otras, la alta generación de vectores, alteración del paisaje, manejo inadecuado de los lixiviados, alteración de la calidad de aguas tanto superficiales, como subterráneas.	Se recomienda para el relleno sanitario de Aguazul, realizar un manejo integral de residuos sólidos, que incluya: Correcta y completa separación de residuos; reciclaje, compostaje (o cualquier otra técnica que genere abono orgánico), manejo técnico del relleno sanitario con cobertura diaria de residuos, recirculación de lixiviados, manejo de aguas lluvias, aguas subterráneas, correcto manejo paisajístico, aseguramiento de manejo de vectores, entre otros.
48			Operación global	-21		

	IMPACTOS POSITIVOS	IMPACTOS NEGATIVOS
IRRELEVANTE (Menor a 25)		
MODERADO (26 a 55)		
IMPORTANTE (56 a 85)		
MUY IMPORTANTE (Mayor a 85)		

## 7. ANÁLISIS DE LA ALTERACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA

En este numeral se realiza un análisis de la calidad del agua superficial y subterránea, con base en los resultados de los monitoreos realizados en el primer semestre de 2004, solicitados para este estudio, los monitoreos anteriores y los monitoreos periódicos realizados durante la Operación, clausura y post clausura de las FMRS-CUP, con el fin de identificar el estado actual de los cuerpos de agua que se localizan próximos al proyecto.

### 7.1 ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS CUERPOS DE AGUA SUPERFICIAL: QUEBRADAS ARENOSA Y OBSEQUIA

1	En todos los parámetros analizados, se observa que no existe aporte de contaminantes del proyecto sobre los cuerpos de agua superficial. Lo anterior debido a que no se realizan vertimientos de aguas residuales directos sobre los cuerpos de agua.
2	En el parámetro de sólidos disueltos se observa un bajo contenido de sólidos disueltos el cual se encuentra asociado seguramente al aporte de materiales finos a través del agua lluvia.
3	El parámetro de turbiedad se observa de mayor valor para la quebrada La Obsequia, comparado con la quebrada La Arenosa antes de la confluencia con la misma. Aguas abajo del relleno sanitario de Cupiagua se observa un valor promedio de turbiedad.
4	Los resultados de oxígeno disuelto muestran mayor oxigenación de la quebrada La Arenosa que la Obsequia antes de su confluencia. Parámetro que se aumenta aguas abajo del relleno sanitario de Cupiagua, luego de la confluencia de las dos quebradas.
5	Teniendo en cuenta los resultados de monitoreo de 3 de junio de 2004, para aguas superficiales: aguas arriba y aguas debajo de las quebradas La Obsequia y la Arenosa, se observa similitud y normalidad en los resultados de variables tales como DBO, Alcalinidad Total, Hierro Total, Temperatura, PH, Sólidos Totales. También se observa una disminución significativa en los mismos parámetros, con respecto al monitoreo de cuerpos de agua superficial realizado en el año 2001. Lo anterior indica que no hay afectación significativa del Relleno Sanitario de Cupiagua ni el de Aguazul y que por el contrario los parámetros de evaluación siguen una tendencia a alcanzar condiciones normales respecto a la calidad del agua superficial. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el tiempo en que se realiza el monitoreo, corresponde a época de alta precipitación.
6	En general no se observa afectación en la calidad de los cuerpos de agua por parte del proyecto.

### 7.2 ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS CUERPOS DE AGUA SUBTERRANEA

1	Teniendo en cuenta que se toman como valores de referencia los resultados de monitoreo del agua realizado antes de iniciada la operación del proyecto (antes de la recepción de residuos, en el primer semestre de 1998, Ver Tabla 4.3, Características de Calidad de agua subsuperficial, GEOTEC INGENIERIA), y los pozos de monitoreo No. 12 y 13 dada su localización, comparados con los resultados de calidad del agua del piezómetro 6A, (Ver Reporte Datos de Monitoreo anual de 3 de junio de 2004, ILAM LTDA.), localizado junto a la piscina de lixiviados, se puede observar que todos los parámetros analizados son similares a los valores de referencia. Al analizar los parámetros de DBO <sub>5</sub> , Sulfatos, conductividad y Nitrógeno total que son propios de los lixiviados, se observan valores bajos indicando que el aporte de posibles contaminantes al agua subterránea por parte de las piscinas o el proyecto es nula. En ningún piezómetro se observa alteración de las aguas subterráneas
2	Todos los parámetros de calidad de los piezómetros 1A, y 2, los cuales se localizan aledaños al tanque de lixiviados, tanque de cenizas y sistema de tratamiento de ARD, y los piezómetros 3, 4A, 8A, 13A, 13B, 6A, 11 y 12, (Ver Reporte Datos de Monitoreo anual de 3 de junio de 2004, ILAM LTDA.), se encuentran dentro del mismo rango de los valores de referencia.
3	Se concluye que las FMRS-CUP no han afectado la calidad de las aguas subterráneas en su área de influencia.

Fuente: Los Autores

### 7.3 ANÁLISIS CON RESPECTO A LOS LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL RELLENO SANITARIO

1	<p>Teniendo en cuenta los resultados del monitoreo del primer semestre de 2004: 9 de enero y 4 de junio, para los valores registrados de DBO y DQO de 18, 21 y 34, 38 (mg/l-O<sub>2</sub>) respectivamente, comparados con los valores de 20,7 mg/l DBO y 88,1 mg/l DQO, valores promedio para el periodo de 2000 y 2001, se observa una disminución significativa en dichos parámetros y adicionalmente valores inferiores al rango típico de un agua residual doméstica cruda, cuyos rangos oscilan para ARD de 190.0 a 466. mg/l en DBO y de 382.0 a 1,230 mg/l en DQO. Lo anterior indica una muy baja concentración de contaminante en el lixiviado en términos de contenido orgánico, comportamiento típico de un relleno sanitario maduro.</p>
2	<p>De otros parámetros analizados en la piscina de lixiviados tales como: hierro total, nitrógeno amoniacal, Nitrógeno Total, sulfatos, Fósforo Total, Grasas, Sólidos Suspendidos totales; se observan valores significativamente inferiores a los típicos de un ARD cruda, evidenciando una vez mas la baja concentración de contaminantes en el lixiviado, en términos de contenido orgánico.</p>
3	<p>Teniendo en cuenta el comportamiento de los parámetros tales como DBO, Nitrógeno Total, Sulfatos y Fósforo total; observados en la Figura 4.1, se define claramente la tendencia de éstos, a disminuir en el tiempo, comportamiento esperado de un relleno sanitario tipo terraza, luego de que la materia orgánica contenida en los residuos tiende a agotarse, posterior a la las etapas de clausura y post clausura del mismo.</p>

Fuente: Los Autores

## 8. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado una síntesis del estado actual de las FMRS-CUP, teniendo en cuenta el análisis de la información suministrada, los hallazgos del trabajo de campo, los datos de monitoreo y los resultados de los análisis de las diferentes matrices del estudio de la evaluación ambiental; con el fin de establecer las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

De acuerdo con los datos de monitoreo obtenidos y análisis previos realizados, se puede concluir que el relleno sanitario de Cupiagua se encuentra en la etapa final de la fase V de estabilización, lo cual indica que el contenido de materia orgánica presente en los residuos no es significativo y consecuentemente su aporte en el biogás y el lixiviado es bastante bajo. Por lo anterior se ratifica que la calidad del lixiviado tiene un bajo contenido de contaminantes, especialmente materia orgánica, lo que consecuentemente se ve reflejado en interacciones bajas con el medio ambiente. Esta misma observación se puede tener a nivel de emisiones de biogás e incluso de gases responsables de olores.

El relleno sanitario de Aguazul genera impactos ambientales al agua, suelo y aire; ocasionados por el manejo inadecuado del relleno, debido a la ausencia de un manejo integral de residuos sólidos en su operación diaria; estos impactos trascienden al relleno sanitario de Cupiagua, los cuales se manifiestan por: impacto paisajístico, generación de olores y vectores. La afectación de las aguas subterráneas y las superficiales, correspondientes a las quebradas la Arenosa y la Obsequia, por efectos del relleno sanitario de Aguazul, no se evidencian debido a los altos porcentajes de dilución en las quebradas, a la altura del proyecto del relleno sanitario de Cupiagua y a la falta de datos de monitoreo adyacentes al relleno sanitario de Aguazul.

## 9. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones derivadas de los análisis anteriores para cada zona del relleno y su uso final.

**Tabla 9-1 Recomendaciones específicas de las FMRS-CUP y relleno sanitario de Aguazul**

		TEMA	RECOMENDACIÓN
1	Relleno sanitario	Talud	Empradizar por medio de agrotexil o cespedón el talud del relleno sanitario, previo perfilado del mismo.
2		Cobertura final	Se recomienda utilizar el material de excavación en mayor magnitud, para la capa de cobertura final.
3			Construir una cobertura final definitiva, de suelo arcilloso, utilizando también el ZODME, de tal manera que se de cumplimiento a los lineamientos establecidos en el plan de Clausura y Post clausura y en la resolución de CORPORINOQUIA (0753 de agosto de 1998), lo cual incluye una capa de humus y revegetalización.
		Red de recirculación de lixiviados	Se recomienda realizar mantenimiento de la tubería de conducción final de lixiviados, a la salida de la celda debido a que se encuentra rota.
4			Es necesario realizar mantenimiento y operación de la red de recirculación de lixiviados periódicamente con el fin de evitar su deterioro.
5		Piscina de lixiviados	Construir muro de seguridad en la piscina de lixiviados, con el fin de evitar el rebose del mismo, el cual se manifiesta en mayor proporción en época de alta precipitación.
6			Limpieza y retiro de sedimentos de la piscina de lixiviados, los cuales pueden ser dispuestos en la zona de almacenamiento de la excavación del predio.
7		Chimeneas de gases	Realizar prolongación de las tuberías de las chimeneas, en cuello de ganso de las FMRS-CUP
8			Las chimeneas se deben cubrir con la cobertura final del relleno, hasta 50 cm
9	Impermeabilización de fondo	Es importante instalar la geomembrana faltante, mediante sellamiento, con el fin de garantizar la impermeabilidad de la etapa 1 del relleno sanitario.	
10	Canales	Canales perimetrales y de agua lluvia.	Se recomienda colocar rejilla final en la caja de control de turbulencia, con el fin de impedir la entrada de objetos y animales.
11			Limpieza y retiro de sedimentos de canales perimetrales, canales de agua lluvia, cajas y pozos de inspección, los cuales pueden ser dispuestos en el ZODME.

		TEMA	RECOMENDACIÓN
12	Tratamiento de aguas domésticas	Sistema ARD	Se recomienda realizar mantenimiento a las láminas filtrantes del humedal artificial y hacer mayor uso del sistema de unidades sanitarias, con el fin de evitar el deterioro del material vegetal y así poder contar con la eficiencia ideal del sistema de ARD.
13			Realizar limpieza de los tanques sépticos que hacen parte del sistema de tratamiento de Aguas residuales domésticas en las FMRS-CUP. La limpieza debe realizarse por lo menos cada dos años.(según resolución 0753/98 de CORPORINOQUIA)
14	Monitoreo de aguas	Aguas subterráneas.	Realizar monitoreo de aguas subterráneas, anualmente, con el fin de verificar su calidad, teniendo en cuenta la cercanía del relleno sanitario de Aguazul.
15		Aguas superficiales	Realizar monitoreo semestral a las quebradas que circundan el área del proyecto.
16	Equipo de incineración	Equipo de incineración	Se recomienda la disposición de las chimeneas, ciclones y multiciclones, como material de reciclaje, debido a su alto grado de oxidación, corrosión y deterioro
17	Otros	Protectores de tubería	Disponer los protectores de tubería previa evaluación de alternativas de reciclaje, como por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizarlos como elementos para demarcación de zonas.</li> <li>• Utilizarlos como elementos ornamentales en jardines o zonas verdes</li> <li>• Utilizarlos como materas previa colocación de base adecuada.</li> </ul> Las anteriores actividades las pueden realizar las madres comunitarias de Tauramena, utilizando estos elementos como una materia prima más para sus actividades de reciclaje. Si no son viables las alternativas anteriores se recomienda: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Devolverlos a su generador.</li> <li>• Enviarlos a la planta cementera de Holcim para su destrucción.</li> </ul>
18		Piezómetros	Se recomienda colocar candados y tapas faltantes en los piezómetros
19		Equipo de seguridad	Se recomienda verificar vigencia de extintores trimestralmente.
20		Sistema eléctrico.	Se recomienda hacer mantenimiento a bombillos y transformador que se encuentra en mal estado.
21		Baños	Se debe realizar mantenimiento al lavamanos, pues la tubería de desagüe se encuentra fracturada.
22		Oficinas	Se debe cambiar una de las tejas del techo de la oficina.
23		Mantenimiento	Se recomienda en lo posible, mantener y aumentar las actividades de mantenimiento, dentro del relleno sanitario de Cupiagua, con el fin de contribuir a la estructura global de empleo, generando su aumento y mejora en el nivel de ingresos. Adicionalmente, el mantenimiento de las FMRS-CUP es indispensable para mejorar la condición actual y evitar deterioro de las mismas.

		TEMA	RECOMENDACIÓN
24	Requisitos legales	Requisitos legales.	Notificar a CORPORINOQUIA el uso definitivo del relleno, en el momento en que se decida el uso futuro, dentro de las alternativas planteadas, o dentro de una nueva alternativa.
25		Requisitos Legales.	Teniendo en cuenta que la aprobación del Plan de Clausura y Post Clausura para las FMRS-CUP según la Resolución <b>200-15-0297 DEL 12 DE JUNIO DE 2002</b> de CORPORINOQUIA caducó en 2003-12-05, se recomienda notificar cuanto antes a dicha entidad, la decisión que tome la empresa BP EXPLORATION COMPANY COLOMBIA LTD., sobre el uso futuro del relleno. Se recomienda a BP actualizar internamente el plan de post-clausura, teniendo en cuenta los resultados del presente estudio y solicitar formalmente la actualización del Plan de clausura a la autoridad ambiental, en función de los resultados de la evaluación.
26		Requisitos legales	Renovar permiso de concesión de aguas para uso doméstico, pues fue vigente hasta 2003-03. pues en la actualidad estas se siguen utilizando para servicio sanitarios.
27	Sinergia	Relleno sanitario de Aguazul	Se recomienda para el relleno sanitario de Aguazul, realizar un manejo integral de residuos sólidos, que incluya: Correcta y completa separación de residuos; reciclaje, compostaje (o cualquier otra técnica que genere abono orgánico), manejo técnico del relleno sanitario con cobertura diaria de residuos, recirculación de lixiviados, manejo de aguas lluvias, aguas subterráneas, correcto manejo paisajístico, aseguramiento de manejo de vectores, entre otros.
28		Relleno sanitario de Aguazul	Se recomienda aumentar la cantidad de operadores con el fin de realizar el manejo integral de residuos sólidos de forma técnica y hacer un aprovechamiento sostenible, lo cual conlleva al mejoramiento de la calidad de vida.

Fuente: Los Autores

## 9.1 USO FINAL SEGÚN GUÍA AMBIENTAL PARA RELLENOS SANITARIOS MMA

“Los rellenos sanitarios clausurados constituyen tanto un recurso potencial como una fuente potencial de problemas. Son un recurso potencial porque su superficie puede usarse en beneficio de la comunidad y son una fuente potencial de problemas por su contenido, así como por el riesgo de que los residuos sólidos migren fuera del límite del relleno sanitario. Las limitaciones principales que los rellenos sanitarios clausurados traen al desarrollo de los sitios donde están ubicados son:

- La necesidad de preservar la integridad de la cobertura final del relleno sanitario,
- Los riesgos del gas del relleno sanitario y
- La probabilidad de asentamiento diferencial que puede dañar la estructura de las edificaciones construidas sobre el relleno sanitario.

Estas limitaciones dependen de varios factores, incluyendo los tipos de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario, la edad del relleno sanitario, el grado de compactación, el clima, entre otros. En general, los rellenos sanitarios relativamente nuevos, con generación importante de metano y progresiva sedimentación, no son buenos candidatos para la reutilización. Los rellenos sanitarios mas antiguos, que han alcanzado una estabilidad relativa en cuanto a generación de gas y compactación de residuos sólidos son mas viables para proyectos de desarrollo.

A pesar de las limitaciones y de los riesgos mencionados en el párrafo anterior, se han usado muchos sitios de disposición final para diversas funciones, algunos con éxito y otros con consecuencias desafortunadas. Los rellenos sanitarios clausurados se usan generalmente para:

- Áreas de recreación pasivas o espacios abiertos: parques, áreas verdes, granjas experimentales, viveros, cría de animales entre otros.
- Usos de recreación activa: campos de atletismo o de golf.
- Desarrollo comercial: áreas de almacenamiento, lotes para estacionamiento de vehículos, edificios livianos de metal.
- Desarrollo residencial: viviendas convencionales, apartamentos.

Debido al riesgo de explosión por acumulación del gas del relleno sanitario en los espacios cerrados, las viviendas residenciales y los edificios de oficinas comerciales no deben ser considerados, salvo sobre rellenos sanitarios estabilizados. Aún así, se debe tener sumo cuidado de proveer la ventilación y el control del gas, así como un adecuado diseño de estructuras. Las opciones más seguras para el desarrollo posterior de sitios de disposición final son las áreas de recreación pasivas o activas.

El uso agrícola también puede ser factible, pero la calidad de la capa superior del suelo y las capas del subsuelo del relleno sanitario quizás no sean apropiadas para cultivos productivos. En muchos casos, el riego no sería práctico y la carga de agua adicional puede comprometer la cobertura final”.

Una vez se ha logrado la estabilización biológica y geotécnica del relleno, el predio puede recibir un nuevo uso. Vale pena destacar que previo a la destinación del predio se deben realizar los estudios específicos de diseño y la valoración de la capacidad portante del terreno para soportar las nuevas obras.

## **9.2 RECOMENDACIONES SOBRE USO FUTURO**

Teniendo en cuenta lo anterior se recomienda

- Hacer la transferencia del relleno sanitario de Cupiagua para que forme parte integral del relleno sanitario del municipio de Aguazul, previo estudio de requisitos legales necesarios para dicha transferencia; siempre y cuando el municipio se comprometa contractualmente a realizar una gestión integral de residuos sólidos

de acuerdo con los lineamientos establecidos en la operación de las FMRS-CUP y la legislación aplicable vigente.

- Utilizar el área del relleno sanitario como sitio de almacenamiento de materiales.
- Utilizar el área como lotes para estacionamiento de Vehículos.

No se recomienda utilizar el área del relleno sanitario como zona de recreación pasiva o espacios abiertos, ni mucho menos como parque infantil, ni como uso agrícola, dada la cercanía y los riesgos presentados por el manejo inadecuado del relleno sanitario de Aguazul.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Decreto 1180 de 10 de mayo de 2003. Licencias ambientales.

Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. Usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 1713 de agosto 6 de 2002 Programa de Gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).

Decreto 1756 de agosto 3 de 1994. Licencias ambientales.

DUVAL, Informes de monitoreo y seguimiento de la Interventoría.

GEOTEC INGENIERÍA LTDA., Plan de clausura y Post-clausura facilidades de manejo de residuos sólidos de Cupiagua. 2001. pág. 40 (incluye tablas y figuras).

GRADEX LTDA., Estudio de impacto ambiental y plan de manejo ambiental facilidades de manejo de producción CPF Cupiagua.

-----, Estudios complementarios.

HIDROMECHANICAS Ltda., Estudios de diseño. Incluyen Planos de diseño, Manual de Operación, Documento de diseño y Estudio de Impacto Ambiental. (1995).

INGEMÉTRICA LTDA., Evaluación de riesgo de contaminación y diseño del sistema de monitoreo de aguas subterráneas y superficiales.

INGEOMINAS-CVC-CORALINA. Manejo integrado de residuos sólidos urbanos 2000 p 125.

Ley 2811 de 1974 ley de los Recursos Naturales.

MINISTERIO DE AMBIENTE y DESARROLLO TERRITORIAL. Guías ambientales de rellenos sanitarios.

Normas Comunidad Económica Europea CEE: Esta se rige por la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999.

Normas de EPA Agency Protection Enviromental (Agencia de Protección Ambiental EEUU).

RAS 2000.

Resolución N° 200-15-0297 del 12 de junio de 2002 por el cual resuelve CORPORINOQUIA, aprobar a la empresa BP Exploration Company el Plan de Clausura temporal y Post-clausura de las facilidades de manejo de residuos sólidos del campo Cupiagua.

TCHOBANOGLIOUS, George. Gestión integral de residuos sólidos. México: McGRAW-HILL, 1998. p.1107.

# ***ANEXO A***

## ***CALCULO DE LA PRODUCCION DE GASES Y LIXIVIADOS***

**TABLA A-1**  
**CALCULO DEL PESO SECO DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

N	Componente	Peso Húmedo	Humedad	Peso Seco
		[ kg/100 kg Bas ]	% peso	[ kg/100 kg Bas ]
		(a)	(b)	(c)
RAPIDA DESCOMPOSICION (RRD)				
1	Residuos de Alimentos	80.20	84.0%	12.83
2	Papel	2.40	7.2%	2.23
3	Cartón	1.40	6.0%	1.32
4	60 % de Maleza	1.38	72.0%	0.39
<b>Suma</b>		<b>85.38</b>		<b>16.76</b>
		%W media :	80.4%	Kg. Bas RRD/100 kg Bas.
LENTA DEGRADACION (RLD)				
1	Textiles	2.10	12.0%	1.85
2	Caucho	0.80	2.4%	0.78
3	Cuero	0.70	12.0%	0.62
4	40 % de Maleza	0.92	72.0%	0.26
5	Madera	0.90	24.0%	0.68
<b>Suma :</b>		<b>5.42</b>		<b>4.19</b>
		%W media :	22.8%	Kg. Bas RLD/100 kg Bas.
NO DEGRADABLES (RND)				
1	Plásticos	2.90	2.4%	2.83
2	Vidrio	1.30	2.4%	1.27
3	Metales	1.10	2.4%	1.07
4	Cenizas	-	9.6%	-
5	Otros	3.90	9.6%	3.53
<b>Suma :</b>		<b>9.20</b>		<b>8.70</b>
		%W media :	5.5%	Kg bas LD/100 kg Bas.
<b>SUMA TOTAL :</b>		<b>100.00</b>		<b>29.65</b>
<b>HUMEDAD PROMEDIO :</b>			70.4%	

(a) Composición por cada 100 Kg de Basura ó % en peso.

(b) Tomado de la referencia 1. Tabla 4.1. Pp 82.

(c)  $\text{Peso seco} = \text{Peso Húmedo} (1 - \text{Humedad}/100)$

Fuente: Modelo desarrollado por W. Casas con base en la Metodología de Tchobanoglous (1)

Referencias: 1. Gestión Integral para el manejo de los Residuos Sólidos. George Tchobanoglous. Mc Graw Hill. 1996.

**TABLA A-2**  
**COMPOSICION QUIMICA TIPICA DE LOS COMPONENTES DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

<b>N</b>	<b>Componente</b>	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>Ceniza</b>
		[ kg C/100 kg Comp ]	[ kg H/100 kg Comp ]	[ kg O/100 kg Comp ]	[ kg N/100 kg Comp ]	[ kg S/100 kg Comp ]	[ kg Cenz/100 kg Comp ]

RAPIDA DESCOMPOSICION (RRD)

1	Residuos de Alimentos	48.00	6.40	37.60	2.60	0.40	5.00
2	Papel	43.50	6.00	44.00	0.30	0.20	6.00
3	Cartón	44.00	5.90	44.60	0.30	0.20	5.00
4	60 % de Maleza	47.80	6.00	38.00	3.40	0.30	4.50

LENTA DEGRADACION (RLD)

1	Textiles	55.00	6.60	31.20	4.60	0.15	2.50
2	Caucho	78.00	10.00	-	2.00	-	10.00
3	Cuero	60.00	8.00	11.60	10.00	0.40	10.00
4	40 % de Maleza	47.80	6.00	38.00	3.40	0.30	4.50
5	Madera	49.50	6.00	42.70	0.20	0.10	1.50

Fuente: *Gestión Integral para el manejo de los Residuos Sólidos. George Tchobanoglous. Mc Graw Hill. 1996.*

**TABLA A-3**  
**CALCULO DE LOS APORTES DE ELEMENTOS QUIMICOS POR CADA COMPONENTE**

<b>N</b>	<b>Componente</b>	<b>C</b>	<b>H</b>	<b>O</b>	<b>N</b>
		[ kg C/100 kg Bas ]	[ kg H/ 100kg Bas ]	[ kg O/100 kg Bas ]	[ kg N/100 kg Bas ]

(a)

APORTE DE LOS RESIDUOS DE RAPIDA DEGRADACION (RRD)

1	Residuos de Alimentos	6.16	0.82	4.82	0.33
2	Papel	0.97	0.13	0.98	0.01
3	Cartón	0.58	0.08	0.59	0.00
4	60 % de Maleza	0.18	0.02	0.15	0.01
	Suma :	7.89	1.06	6.54	0.36
	Peso Atómico ( gr/mol) : *	12.01	1.01	16.00	14.01
	Aporte (Moles/100 kg Bas.) **	657.1	1,045.3	408.7	25.5
	Aporte Moles/Mol de N *** (x,y,z,1)	25.8	41.0	16.0	1.0

APORTE DE LOS RESIDUOS DE LENTA DEGRADACION (RRD)

1	Textiles	1.02	0.12	0.58	0.09
2	Caucho	0.61	0.08	-	0.02
3	Cuero	0.37	0.05	0.07	0.06
4	40 % de Maleza	0.12	0.02	0.10	0.01
5	Madera	0.34	0.04	0.29	0.00
	Suma :	2.46	0.31	1.04	0.17
	Peso Atómico ( gr/mol) : *	12.01	1.01	16.00	14.01
	Aporte (Moles/100 kg Bas.) **	204.6	302.8	64.9	12.3
	Aporte Moles/Mol de N *** (x,y,z,1)	16.6	24.6	5.3	1.0

(a) *Aporte Carbono = Peso seco \* % Carbono*

**TABLA A-4**  
**FORMULA QUIMICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS Y ECUACION BALANCEADA**

<b>ECUACION BASICA</b>																		
C	x	H	y	O	z	N	+	A	H <sub>2</sub> O	----->	B	CH <sub>4</sub>	+	C	CO <sub>2</sub>	+	D	NH <sub>3</sub>
<b>RAPIDA DESCOMPOSICION (RRD)</b>																		
C	26	H	41	O	16	N	+	8.26	H <sub>2</sub> O	----->	13.62	CH <sub>4</sub>	+	12.14	CO <sub>2</sub>	+		NH <sub>3</sub>
					621.07										534.2			17.04
					Kg RRD				Kg Agua					Kg. Dióxido Carbono				Kg. Amonio
<b>LENTA DESCOMPOSICION (RLD)</b>																		
C	17	H	25	O	5	N	+	8.59	H <sub>2</sub> O	----->	9.70	CH <sub>4</sub>	+	6.93	CO <sub>2</sub>	+		NH <sub>3</sub>
					322.95										305.0			17.04
					Kg. RLD				Kg Agua					Kg. Dióxido Carbono				Kg. Amonio

**TABLA A-5  
CALCULO DE LA CANTIDAD DE BIOGAS PRODUCIDO POR 1 Kg. DE RRD Y RLD**

Temperatura *	<b>24.7</b>	°C	Temperatura (a) :	297.70	<sup>oK</sup>
Altitud (H) *	<b>500.0</b>	msnm	Presión (b) :	0.943	Atm.
Densidad Metano (c) :	0.6196	gr/l ó Kg/m3	PM CH4 :	16.0429	gr/Mol
	0.0386	Lb/ft3	PM CO2 :	44.0078	gr/Mol
Densidad CO <sub>2</sub>	1.6997	kg/m3	R ** :	0.0820570	lt-atm/mol- oK
	0.1059	Lb/ft3	Densidad del Gas (d) :	1.160	kg/m3

GAS	RAPIDA DEGRADACION	LENTA DEGRADACION
-----	--------------------	-------------------

METANO (e) :	0.352	Kg CH4/ Kg RRD	0.482	Kg CH4/ Kg RLD
	0.568	m3 CH4/Kg RRD	0.778	m3 CH4/Kg RLD
DIOXIDO DE C (e) :	0.860	Kg CO2/Kg RRD	0.944	Kg CO2/Kg RLD
	0.506	m3 CO2/Kg RRD	0.556	m3 CO2/Kg RLD
TOTAL BIOGAS (f) :	1.212	Kg Biogas/Kg RRD	1.426	Kg Biogas/Kg RLD
	1.045	m3 Biogas/Kg RRD	1.230	m3 Biogas/Kg. RLD
	16.8	ft3/ Lb RRD.	19.7	ft3/ Lb Bas LD
TOTAL BIOGAS GENERADO	0.364	Kg Biogas/Kg RRD	0.285	Kg Biogas/Kg RLD
POR DISPONIBILIDAD DE	0.314	m3 Biogas/Kg RRD	0.246	m3 Biogas/Kg. RLD
LOS RRD Y RLD (g) :	5.03	ft3/ Lb RRD.	3.95	ft3/ Lb Bas LD
GAS GENERADO POR 1 Kg.	<b>52.56</b>	lt Biogas/Kg. Bas	<b>41.23</b>	lt Biogas/Kg. Bas
DE RESIDUO (Bas) (h):				

**TABLA A-6**  
**CALCULO DE LA CURVA DE DEGRADACION DE LOS RRD Y RLD- MODELO TRIANGULAR**

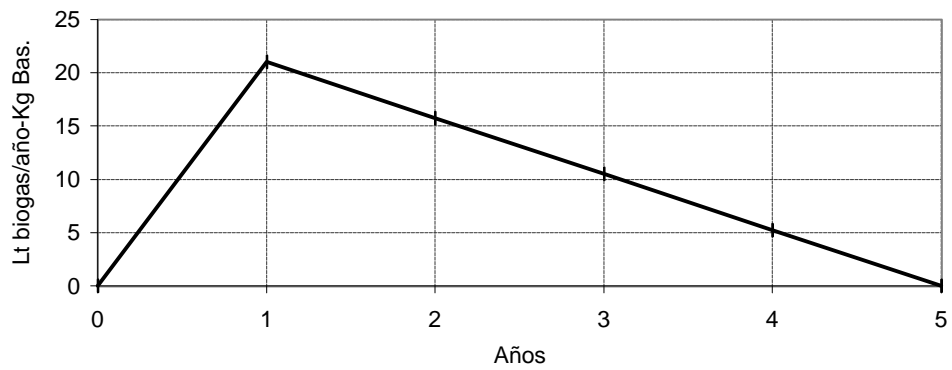
N	RAPIDA DEGRADACION		LENTA DEGRADACION		TOTAL	
	Velocidad de	Gas	Velocidad de	Gas		
	Producción	Producido	Producción	Producido		
	lt/año-Kg Bas.	lt/Kg Bas.	lt/año-Kg Bas.	lt/Kg Bas.	lt/año-Kg Bas.	lt/Kg Bas.
	Final del año			Final del año		
0	0.00		-		0.00	-
1	<b>21.02</b>	10.51	1.10	0.55	22.12	11.06
2	15.77	18.40	2.20	1.65	17.97	20.04
3	10.51	13.14	3.30	2.75	13.81	15.89
4	5.26	7.88	4.40	3.85	9.65	11.73
5	0.00	2.63	<b>5.498</b>	4.95	5.50	7.58
6			4.95	5.22	4.95	5.22
7			4.40	4.67	4.40	4.67
8			3.85	4.12	3.85	4.12
9			3.30	3.57	3.30	3.57
10			2.75	3.02	2.75	3.02
11			2.20	2.47	2.20	2.47
12			1.65	1.92	1.65	1.92
13			1.10	1.37	1.10	1.37
14			0.55	0.82	0.55	0.82
15			0.00	0.27	0.00	0.27
<b>Total lt/kg Bas. :</b>	<b>52.56</b>		<b>41.23</b>		<b>93.79</b>	

*Supuestos : La curvas de degradación de los residuos es triangular y lineal*

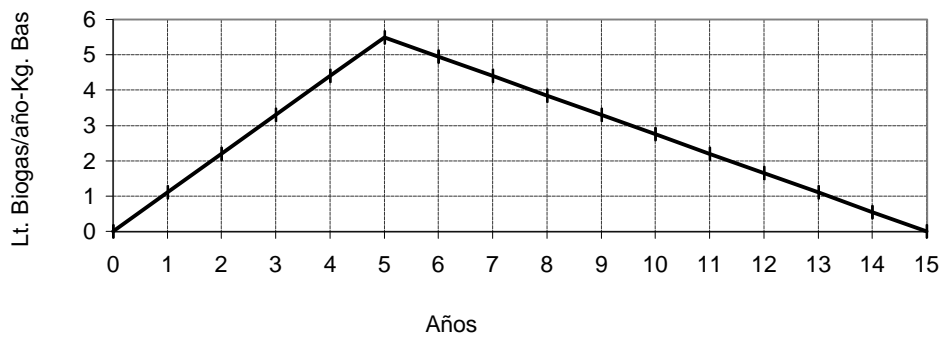
*Al final del año 1 se presenta la velocidad máxima de producción de gas generado por los RRD*

*Al final del año 2 se presenta la velocidad máxima de producción de gas generado por los RLD*

**VELOCIDAD DE PRODUCCION DE BIOGAS PARA 1 Kg. DE  
BASURA  
Aporte de los Residuos de Rápida Degradación (RRD)**

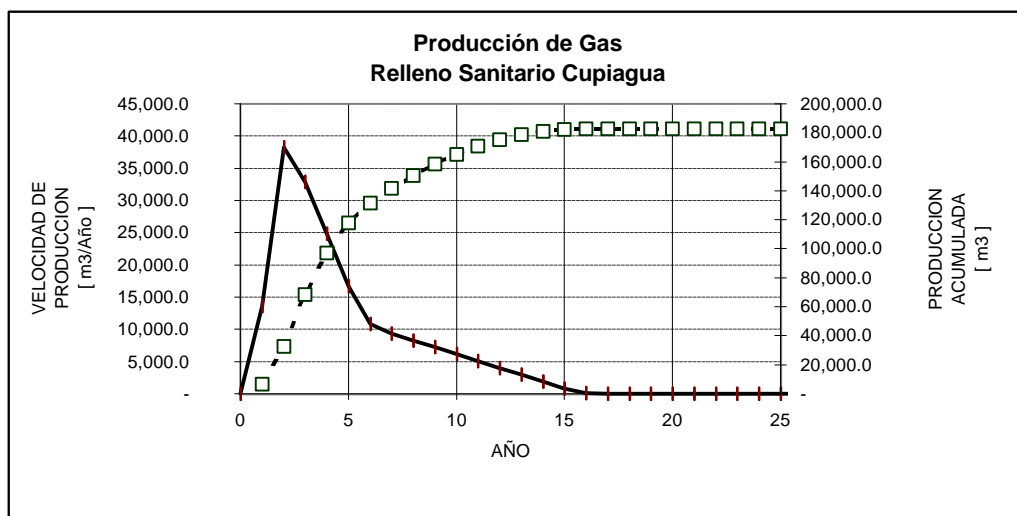


**VELOCIDAD DE PRODUCCION DE GAS PARA 1 Kg. DE  
BASURA  
Aporte de los Residuos de Lenta Degradación (RLD)**



**TABLA A-7  
PRODUCCION DE BIOGAS**

N	Año	Ton Bas./año	Velocidad	Gas	
			Final del Año [ m <sup>3</sup> /año ]	Acumulado [ m <sup>3</sup> ]	%
0	1998	615.025	0.0	-	0.0%
1	1999	1,230.050	13,606.1	6,803.1	3.7%
2	2000	104.470	38,262.1	32,737.2	17.9%
3	2001	-	32,904.7	68,320.6	37.4%
4	2002	-	24,802.0	97,174.0	53.1%
5	2003	-	16,699.3	117,924.6	64.5%
6	2004	-	10,814.6	131,681.5	72.0%
7	2005	-	9,365.9	141,771.8	77.5%
8	2006	-	8,294.1	150,601.8	82.4%
9	2007	-	7,222.2	158,359.9	86.6%
10	2008	-	6,150.4	165,046.3	90.3%
11	2009	-	5,078.5	170,660.7	93.3%
12	2010	-	4,006.7	175,203.4	95.8%
13	2011	-	2,934.8	178,674.1	97.7%
14	2012	-	1,863.0	181,073.0	99.0%
15	2013	-	791.2	182,400.1	99.8%
16	2014	-	57.6	182,824.5	100.0%
17	2015	-	0.0	182,853.3	100.0%
18	2016	-	-	182,853.3	100.0%
19	2017	-	-	182,853.3	100.0%
20	2018	-	-	182,853.3	100.0%
		1,949.5			



***ANEXO B***

***REPORTE DE DATOS DE MONITOREO***

## REPORTE DE DATOS DE MONITOREO

Parámetros	CPF CUIAGUA OPERACIONES - PIEZOMETRO No. 11 RELLENO SANITARIO  IY-44196  17-May-2003	CPF CUIAGUA OPERACIONES - PIEZOMETRO No. 2 RELLENO SANITARIO  IY-44195  17-May-2003
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	11	14
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	66	81
Fósforo Total (mg/L-P)	0.04	0.13
Hierro Total (mg/L-Fe)	14.22	71.04
NIVEL FREATICO (m/)	1.74	2.50
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L-N)	1.9	1.8
Sulfatos (mg/L-SO <sub>4</sub> )	0.0	0.0
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	323	1,422
Temperatura (°C)	27.0	25.5
pH (UND)	4.9	4.9



## REPORTE DE DATOS DE MONITOREO ESPECIAL

### RELLENO SANITARIO CPF CUPIAGUA

PARAMETROS	PISCINA LIXIVIADOS	PIEZOMETRO # 11	PIEZOMETRO # 13 B
	IY-46490 9-Jan-04	IY-46491 9-Jan-04	IY-46492 9-Jan-04
Color (UND)	35		
Turbiedad (UNT)	1,5		
Temperatura (°C)	27,6	26,8	26,2
pH (UND)	7,01	4,8	5,5
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	146	5	18
Acidez Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	30		
Dureza Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	140		
D. Calcio (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	100		
D. Magnesio (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	40		
Hierro Total (mg/L-Fe)	0,10	7,44	1,41
Cloruros (mg/L-Cl)	102,0		
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	781	25	25
N. Amoniacal (mg/L-N)	15,63		
N. Nitritos (mg/L-N)	0,02		
N. Nitratos (mg/L-N)	34,16		
Nitrógeno Total (Kjeldahlmg/L-N)	71,4	0,88	0,78
Manganeso(mg/L-Mn)	0,11		
Aluminio(mg/L-Al)	< 0,34		
Sulfatos (mg/L-SO <sub>4</sub> )	0,0	0,0	0,0
Fósforo Total (mg/L-P)	0,12	0,22	0,17
OD (mg/L-O <sub>2</sub> )	3,0		
DBO (mg/L-O <sub>2</sub> )	18	6	2
DQO (mg/L-O <sub>2</sub> )	34	30	13
Grasas (mg/L)	0,2		
Sólidos Totales (mg/L)	597	13424	961
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	3		
S. Disueltos Totales (mg/L)	594		
S. Sedimentales (1-Hr-ml/L)	0,0		
Mercurio (µg/L-Hg)	< 0,10		
Cadmio (mg/L-Cd)	< 0,01		
Cromo (mg/L-Cr)	< 0,05		
Niquel (mg/L-Ni)	< 0,06		
Cobre (mg/L-Cu)	< 0,04		
Zinc (mg/L-Zn)	< 0,04		
Coliformes Totales (NMP/100ml)	1500		
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	90		
Nivel Freático (mt)		3,02	5,0
<b>TIPO DE MUESTREO:</b>	<b>PUNTUAL</b>	<b>PUNTUAL</b>	<b>PUNTUAL</b>
<b>ESTADO DEL TIEMPO:</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b> Los demás piezómetros solicitados se encontraron secos al igual que las fuentes superficiales.			

Responsable: Qco. Carlos Martín Velásquez

Aprobación Supervisor ILAM LTDA.

PQ 1450

Parámetros	GRIFO BAÑO RELLENO SANITARIO	
	IY-038612	
	11-Ene-2002	
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)	29	
Cloro Residual (mg/L-Cl2)		
Cloruros (mg/L-Cl)		
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)		
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	0	
Coliformes Totales (NMP/100mL)		
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	0	
Color (UND)	3	
Conductividad (µmhos/cm25)	56	
Dureza Total (mg/L-CaCO3)	30	
Hierro Total (mg/L-Fe)	0.07	
Manganeso (mg/L-Mn)	0.00	
Nitratos (mg/L-N)		
pH (UND)	7.2	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	2	
Sulfatos (mg/L-SO4)		
Temperatura (°C)	26.8	
Turbiedad (UNT)	4.2	

Fuente: Ilam Ltda.

Parámetros	GRIFO BAÑO RELLENO SANITARIO	
	IY-038916	
	11-Feb-2002	
Cloro Residual (mg/L-Cl2)	0.0	
Cloruros (mg/L-Cl)	2.4	
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)		
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	3	
Coliformes Totales (NMP/100mL)		
Coliformes Totales (UFC/100 ml)	1045	
Color (UND)	7	
Conductividad (µmhos/cm25)	46	
Dureza Total (mg/L-CaCO3)	20	
Hierro Total (mg/L-Fe)	0.12	
Nitratos (mg/L-N)	0.03	
pH (UND)	7.7	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	2	
Sulfatos (mg/L-SO4)	2.6	
Temperatura (°C)	29.2	
Turbiedad (UNT)	1.7	

Fuente: Ilam Ltda.

## MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE ENERO-2002

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA RELLENO SANITARIO	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2	PIEZOMETRO No. 11 RELLENO SANITARIO
	IY-038611	IY-038610	IY-038608	IY-038609	IY-038624
	11-Ene-2002	11-Ene-2002	11-Ene-2002	11-Ene-2002	12-Ene-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)	536	370	280	132	10
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	>24000000				
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>24000000				
Conductividad (µmhos/cm25)	1361	1219	973	449	76
DBO5 (mg/L-O2)	170	45	19	16	5
DQO (mg/L-O2)	192	104	132	120	68
Fósforo Total (mg/L-P)					0.39
Grasas y/o Aceites (mg/L)		0.4	0.8	2.8	
Hierro Total (mg/L-Fe)					60.1
Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L-N)					14.7
Nivel Freático (m.)					2.0
Oxígeno Disuelto (mg/L-O2)	0.0	1.3	8.0	7.8	
pH (UND)	7.8	7.2	7.9	8.1	4.6
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	284	6	32	20	
Sólidos Sedimentables (mL/L-1-Hr)					
Sólidos Totales (mg/L)	1812	1563	811	400	5377
Sulfatos (mg/L-SO4)					4.2
Temperatura (°C)	27.7	28.0	28.1	27.9	26.2
TIPO DE MUESTREO	COMPUESTO	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL

Observaciones: Los piezómetros nos. 1A, 1B, 2, 3, 4A, 4B, 6A, 6B, 7, 8A, 8B, 9, 10, 12, 13A Y 13B se encontraron secos. La salida planta de agua residual del relleno sanitario se encontró seca

Fuente: Ilam Ltda.

## MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE FEBRERO-2002

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA RELLENO SANITARIO	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2
	IY-038902	IY-038903	IY-038904	IY-038905
	09-Feb-2002	9-Feb-2002	09-Feb-2002	09-Feb-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)		520	194	108
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	>24000000			
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>24000000			
Conductividad (µmhos/cm25)	1446	1653	732	487
DBO5 (mg/L-O2)	70	12	22	18
DQO (mg/L-O2)	104	65	104	98
Grasas y/o Aceites (mg/L)		1.9	1.9	1.3
Oxígeno Disuelto (mg/L-O2)	0.5	2.5	12	9.0
pH (UND)	7.9	7.8	9.5	9.7
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	11	6	35	62
Sólidos Totales (mg/L)	1263	1485	538	407
Temperatura (°C)	31.2	31.2	30.6	31.0
TIPO DE MUESTREO	<b>COMPUESTO</b>	<b>PUNTUAL</b>	<b>PUNTUAL</b>	<b>PUNTUAL</b>

OBSERVACIONES: El piezómetro No. 11 se encontró seco.

Fuente: Ilam Ltda.

### MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE MARZO - 2002

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA RELLENO SANITARIO	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2
	IY-039156	IY-039159	IY-039157	IY-039158
	07-Mar-2002	07-Mar-2002	07-Mar-2002	07-Mar-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)		590	170	94
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	>24000000			
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>24000000			
Conductividad (µmhos/cm25)	1524	1875	841	502
DBO5 (mg/L-O2)	90	14	60	29
DQO (mg/L-O2)	124	108	178	183
Grasas y/o Aceites (mg/L)		4.0	7.6	1.9
Oxígeno Disuelto (mg/L-O2)	0.0	2.6	11.2	5.0
pH (UND)	7.5	7.8	9.1	9.3
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	18	15	56	71
Sólidos Totales (mg/L)	1165	1428	676	486
Temperatura (°C)	31.1	33.3	31.3	30.2
TIPO DE MUESTREO	COMPUESTO	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL

OBSERVACIONES: El piezómetro No. 11 se encontró seco

Fuente: Ilam Ltda.

## Quebradas Obsequia y Arenosa se encontraron secas en el periodo Enero a marzo de 2002

### MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE ABRIL

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PIEZOMETRO No. 11	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2	GRIFO BAÑO	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ARRIBA	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ABAJO	QUEBRADA OBSEQUIA ANTES DESEMBOCADURA Q. ARENOSA
	IY-039652	IY-039640	IY-039655	IY-039653	IY-039654	IY-039656	IY-039637	IY-039638	IY-039639
	18-Abr-2002	17-Abr-2002	18-Abr-2002	18-Abr-2002	18-Abr-2002	18-Abr-2002	17-Abr-2002	17-Abr-2002	17-Abr-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )		41	255	185	80		145	20	18
Caudal (l/s)							1.8	10.0	11.0
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	>24000000								
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>24000000								
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	879	219	681	531	246	14	419	37	112
DBO <sub>5</sub> (mg/L-O <sub>2</sub> )	110	8	61	54	66		10	4	2
DQO (mg/L-O <sub>2</sub> )	172	21	84	124	80				
Fósforo Total (mg/L-P)		0.19							
Grasas y/o Aceites (mg/L)			2.3	1.6	1.7				
Hierro Total (mg/L-Fe)		28.8				0.11			
Nitrógeno Total (Kjeldahlmg/L-N)		9.80							
Nivel Freático (m)		1.84							
Oxígeno Disuelto (mg/L-O <sub>2</sub> )	0.3		1.7	8.1	8.5		4.0	6.9	6.8
pH (UND)	7.5	6.0	7.3	8.1	8.4	6.1	6.9	6.5	6.3
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	80		10	30	43		26	30	99
Sólidos Totales (mg/L)	570	197	397	420	272				
Sulfatos (mg/L-SO <sub>4</sub> )		0.0							
Temperatura (°C)	27.8	25.8	29.0	30.0	29.1	28.1	25.6	25.7	26.0
Turbiedad (UNT)							7.5	20	8.2
TIPO DE MUESTREO	COMPUESTO	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL		INTEGRADO	INTEGRADO	INTEGRADO

Fuente: Ilam Ltda.

**MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE MAYO - 2002**

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PIEZOMETRO No. 11	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2
	IY-039922	IY-039900	IY-039925	IY-039923	IY-039924
	10-May-2002	08-May-2002	10-May-2002	10-May-2002	10-May-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)		30	293	172	69
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	≥24x10 <sup>6</sup>				
Coliformes Totales (NMP/100mL)	≥24x10 <sup>6</sup>				
Conductividad (µmhos/cm25)	470	108	775	490	255
DBO5 (mg/L-O2)	72	3	31	26	16
DQO (mg/L-O2)	173	29	98	118	90
Fósforo Total (mg/L-P)		0,20			
Grasas y/o Aceites (mg/L)			3,4	2,6	3,3
Hierro Total (mg/L-Fe)		26,7			
Nitrógeno Total (Kjeldahlmg/L-N)		6,0			
Nivel Freático (m)		2,1			
Oxígeno Disuelto (mg/L-O2)	0,4		1,8	4,7	5,1
pH (UND)	7,0	5,9	6,9	7,4	7,5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	324		33	24	35
Sólidos Totales (mg/L)	681	618	695	473	252
Sulfatos (mg/L-SO4)		0,00			
Temperatura (°C)	27,2	27,3	27,4	27,7	27,2
TIPO DE MUESTREO:	COMPUESTO	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL

Fuente: Ilam Ltda.

**CONTINUACION MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE MAYO -2002**

Parámetros	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ARRIBA	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ABAJO	QUEBRADA OBSEQUIA ANTES DESEMBOCADURA Q. ARENOSA	GRIFO BAÑO
	IY-039897	IY-039898	IY-039899	IY-039926
	08-May-2002	08-May-2002	08-May-2002	10-May-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	10	10	62	
Caudal (l/s)	12,2	19,5	5,3	
Color (UND)				3
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)				0
Coliformes Totales (UFC/100mL)				240
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	11	32	167	15
DBO <sub>5</sub> (mg/L-O <sub>2</sub> )	3	4	4	
Dureza Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )				10
Hierro Total (mg/L-Fe)				0,19
Oxígeno Disuelto (mg/L-O <sub>2</sub> )	6,3	6,0	4,2	
pH (UND)	6,6	6,4	6,7	6,3
sólidos Totales (mg/L)	82	136	286	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	54	91	97	
Temperatura (°C)	27,8	27,3	28,1	26,7
Turbiedad (UNT)	6,8	116	110	1,4
TIPO DE MUESTREO:	INTEGRADO	INTEGRADO	INTEGRADO	PUNTUAL

Fuente: Ilam Ltda.

**MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE JUNIO - 2002**

Parámetros	ENTRADA AGUA RESIDUAL DOMESTICA	PIEZOMETRO No. 11	TANQUE DE LIXIVIADOS	PISCINA DE LIXIVIADOS No. 1	PISCINA DE LIXIVIADOS No 2
	IY-040269	IY-040303	IY-040266	IY-040267	IY-040268
	11-Jun-2002	13-Jun-2002	11-Jun-2002	11-Jun-2002	11-Jun-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO3)		37	200	137	60
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	≥24000000				
Coliformes Totales (NMP/100mL)	≥24000000				
Conductividad (µmhos/cm25)	195	41	561	345	185
DBO5 (mg/L-O2)	341	10	52	60	36
DQO (mg/L-O2)	526	36	93	176	73
Fósforo Total (mg/L-P)		0,12			
Grasas y/o Aceites (mg/L)			1,0	4,0	0,1
Hierro Total (mg/L-Fe)		5,39			
Nitrógeno Total (Kjeldahmg/L-N)		0,2			
Nivel Freático (m)		1,2			
Oxígeno Disuelto (mg/L-O2)	1,5		4,4	8,5	7,5
pH (UND)	6,9	6,1	7,2	8,5	8,7
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	4097		16	60	22
Sólidos Totales (mg/L)	4336	464	439	350	166
Sulfatos (mg/L-SO4)		0,0			
Temperatura (°C)	28,7	26,3	28,8	28,1	28,2
TIPO DE MUESTREO:	COMPUESTO	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL	PUNTUAL

Fuente: Ilam Ltda.

**CONTINUACIÓN MONITOREO DE AGUAS RELLENO SANITARIO MES DE JUNIO - 2002**

Parámetros	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ARRIBA	QUEBRADA ARENOSA AGUAS ABAJO	QUEBRADA OBSEQUIA ANTES DESEMBOCADURA Q. ARENOSA	GRIFO BAÑO
	IY-040300	IY-040301	IY-040302	IY-040265
	13-Jun-2002	13-Jun-2002	13-Jun-2002	11-Jun-2002
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	11	12	19	
Caudal (l/s)	185,0	382,0	164,3	
Color (UND)				5
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)				0
Coliformes Totales (UFC/100mL)				0
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	27	20	12	25
DBO <sub>5</sub> (mg/L-O <sub>2</sub> )	3	3	2	
Dureza Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )				42
Hierro Total (mg/L-Fe)				0,00
Oxígeno Disuelto (mg/L-O <sub>2</sub> )	7,8	7,9	7,5	
pH (UND)	7,2	7,3	7,1	6,4
sólidos Totales (mg/L)	540	296	61	
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	511	257	24	
Temperatura (°C)	24,7	24,8	25,1	26,6
Turbiedad (UNT)	177	174	63,2	1,0
TIPO DE MUESTREO:	INTEGRADO	INTEGRADO	INTEGRADO	PUNTUAL

Fuente: Ilam Ltda.

## MONITOREO DE PIEZOMETROS RELLENO SANITARIO, MAYO 17 DE 2003

Parámetros	PIEZOMETRO No. 1A	PIEZOMETRO No. 2 RELLENO SANITARIO	PIEZOMETRO No. 11 RELLENO SANITARIO
	IY-044194	IY-044195	IY-044196
	17-Mayo-2003	17-Mayo-2003	17-Mayo-2003
Alcalinidad Total (mg/L-CaCO <sub>3</sub> )	23	14	11
Conductividad (µmhos/cm <sup>25</sup> )	80	81	66
Fosforo Total (mg/L-P)	0,00	0,13	0,04
Hierro Total (mg/L-Fe)	71,04	71,04	14,22
Nitrogeno Total Kjeldahlmg/L-N	2,1	1,8	1,9
Nivel freatico (m)	3,24	2,50	1,74
pH (UND)	5,3	4,9	4,9
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	4118	1422	323
Sulfatos (mg/L-SO <sub>4</sub> )	0,0	0,0	0,0
Temperatura (°C)	28,4	25,5	27,0
TIPO DE MUESTREO:	INTEGRADO	INTEGRADO	INTEGRADO

OBSERVACIONES: los piezómetros Nos. 1b, 6A y 6B del relleno sanitario se encontraron secos

Fuente: ILAM LTDA.

***ANEXO C***

***REGISTRO FOTOGRAFICO***



**FOTO 0. ENTRADA A LAS FMRS-CUPIAGUA**



**FOTO1. RELLENO SANITARIO**



**FOTO 2. COBERTURA FINAL.**



**FOTO 3. COBERTURA FINAL**



**FOTO 4. COBERTURA FINAL Y CASETAS DE RECICLAJE**



**FOTO 5. TALUD DESPROVISTO DE GEOMEMBRANA**



**FOTO 6. TALUD DESPROVISTO DE GEOMEMBRANA**



**FOTO 7. TALUD DESPROVISTO DE GEOMEMBRANA**



**FOTO 8. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS**



**FOTO 9. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS**



**FOTO 10. SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE LIXIVIADOS Y TANQUE DE DISPOSICIÓN DE CENIZAS.**



**FOTO 11. PISCINA PARA LIXIVIADOS.**



**FOTO 12. PISCINA PARA LIXIVIADOS**



**FOTO 13. PISCINA PARA LIXIVIADOS**



**FOTO 14. PISCINA PARA LIXIVIADOS**



**FOTO 15. PISCINA PARA LIXIVIADOS**



**FOTO 16. CHIMENEA PARA GASES**



**FOTO 17. CHIMENEA PARA GASES**



**FOTO 18. CHIMENEA PARA GASES**



**FOTO 19. CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 20. CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 21. CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 22 CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 23 CANALES PERIMETRALES.**



**FOTO 24 CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 25 SISTEMA DE ABATIMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**



**FOTO 26 SISTEMA DE ABATIMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA**



**FOTO 27 TALUDES DEL RELLENO SANITARIO**



**FOTO 28 TALUD DEL RELLENO SANITARIO**



**FOTO 29 OFICINAS Y BAÑOS**



**FOTO 30 OFICINAS Y BAÑOS.**



**FOTO 31 CASETA DE CELADURIA**



**FOTO 32 CASETAS PARA RECICLAJE**



**FOTO 33 TANQUE PARA SUMINISTRO DE AGUA**



**FOTO 34 REGULADOR PARA AGUA POTABLE**



**FOTO 35 CUNETAS PARA CONDUCCIÓN DE AGUAS LLUVIA**



**FOTO 36 CUNETETA PARA CONDUCCION DE AGUA LLUVIA**



**FOTO 37 ÁREA DE INCINERACIÓN**



**FOTO 38** *ÁREA DE INCINERACIÓN*



**FOTO 39** *HORNO PARA INCINERACIÓN*



**FOTO 40** *ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE*



**FOTO 41** *CONTROLES ELÉCTRICOS DEL HORNO DE INCINERACIÓN*



**FOTO 42 CHIMENEA, CICLONES, MULTICLONES**



**FOTO 43 CHIMENEA DEL INCINERADOR.**



**FOTO 44 CICLONES MULTICLONES.**



**FOTO 45 CICLONES MULTICLONES**



**FOTO 46 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**



**FOTO 47 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**



**FOTO 48 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**



**FOTO 49 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS**



**FOTO 50 PIEZÓMETRO**



**FOTO 51 RELLENO SANITARIO DE AGUAZUL**



**FOTO 52 RELLENO SANITARIO DE AGUAZUL**



**FOTO 53 RELLENO SANITARIO DE AGUAZUL**



**FOTO 54 VIA RELLENO SANITARIO DE AGUAZUL**



**FOTO 55 COMPACTADORA CUPIAGUA.**



**FOTO 56 PANORÁMICA DEL RELLENO SANITARIO**



**FOTO 57 PANORAMICA DEL RELLENO**



**FOTO 58 MANTENIMIENTO DE CANALES PERIMETRALES**



**FOTO 59 ETAPA 1 RELLENO SANITARIO**