

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL IMPACTO SOBRE LAS AGUAS  
SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA  
DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA Y  
PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PAISAJISTICA DEL MISMO.**

**ROSALBA OJEDA REINA**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE ARAUCA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
ARAUCA  
2005**

**EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL IMPACTO SOBRE LAS AGUAS  
SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA  
DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA Y  
PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PAISAJISTICA DEL MISMO.**

**ROSALBA OJEDA REINA**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTOR  
INGENIERO GEÓLOGO JUAN CARLOS MEJIA  
MASTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE ARAUCA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
ARAUCA  
2005**

**Nota de aceptación:**

-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----  
-----

-----  
**Firma del Director de Trabajo de Grado**

**Arauca, 26 de abril de 2005**

*Dedico este triunfo a todos mis seres queridos quienes con su apoyo y cariño me fortalecieron.*

*A Dumar, Leonardo, Sebastián, Isabella y Paloma les agradezco el tiempo de ellos que me permitieron utilizar en esta causa.*

## **AGRADECIMIENTOS.**

- Al Ingeniero Geólogo Master en Ingeniería Ambiental, Juan Carlos Mejía, Superintendente de Seguridad Industrial y Gestión Ambiental de Occidental de Colombia, Director de tesis.
  
- A la Empresa Occidental de Colombia, Sectorial Caño Limón por su apoyo financiero y logístico.
  
- Al ingeniero Mario Ayala, Profesor Contratista de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Arauca.
  
- Al señor Dumar Benítez, Técnico de Muestreo de Occidental de Colombia.
  
- Al señor Henry Rodríguez y al personal del laboratorio de suelos TOPSUELOS
  
- A la Ingeniera Ambiental Margarita Pérez.
  
- Al Ingeniero Ambiental José Alben Díaz Torrado.

## CONTENIDO.

<b>INTRODUCCION</b> .....	<b>19</b>
<b>1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>21</b>
1.1 <i>SITUACIÓN PROBLEMA</i> .....	21
1.2 <i>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</i> .....	21
<b>2 JUSTIFICACION</b> .....	<b>22</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
3.1 <i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	24
3.2 <i>OBJETIVO ESPECÍFICOS</i> .....	24
<b>4 HIPÓTESIS</b> .....	<b>25</b>
<b>5 MARCO TEORICO</b> .....	<b>26</b>
5.1 <i>MARCO REFERENCIAL</i> .....	26
5.1.1 <i>Ubicación geográfica</i> .....	26
5.1.2 <i>Geología</i> .....	27
5.1.3 <i>Suelos</i> .....	28
5.1.3.1 <i>Columna litológica</i> .....	29
5.1.3.2 <i>Unidad biofísica de tierra</i> .....	30
5.1.4 <i>Vegetación</i> .....	31
5.1.5 <i>Fauna</i> .....	32
5.1.6 <i>Clima</i> .....	33
5.1.7 <i>Población</i> .....	37
5.1.8 <i>Manejo de residuos sólidos</i> .....	38
5.2 <i>MARCO HISTORICO</i> .....	40
5.3 <i>MARCO LEGAL</i> .....	44
5.4 <i>MARCO CONCEPTUAL</i> .....	47
5.4.1 <i>Calidad del agua</i> .....	47
5.4.1.1 <i>Características físicas</i> .....	48
5.4.1.1.1 <i>Turbiedad</i> .....	48
5.4.1.1.2 <i>Temperatura</i> .....	49
5.4.1.1.3 <i>Conductividad</i> .....	49
5.4.1.2 <i>Características químicas</i> .....	50
5.4.1.2.1 <i>pH</i> .....	51
5.4.1.2.2 <i>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)</i> .....	51
5.4.1.2.3 <i>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	52
5.4.1.2.4 <i>Fenoles</i> .....	53

5.4.1.2.5	Los nitratos.....	54
5.4.1.2.6	Nitritos.....	55
5.4.1.2.7	Alcalinidad.....	55
5.4.1.2.8	Plomo.....	56
5.4.1.2.9	Cadmio.....	57
5.4.1.2.10	Mercurio.....	57
5.4.2	Lixiviados.....	58
5.4.2.1	Arsénico (As).....	58
5.4.2.2	Bario (Ba).....	58
5.4.2.3	Cromo (Cr).....	58
5.4.2.4	Selenio (Se).....	59
5.4.2.5	Plomo.....	59
5.4.2.6	Características Microbiológicas.....	59
5.4.2.6.1	Coliformes totales.....	60
5.4.2.6.2	Coliformes fecales.....	61
5.4.2.6.3	Mesófilos aerobios.....	61
5.4.3	Lixiviado.....	61
5.4.4	Cierre y manejo posclausura de vertederos o basureros.....	63
5.4.4.1	Utilización posclausura del terreno.....	65
5.4.4.2	Diseño de cubierta final.....	65
5.4.4.3	Sistemas de control de agua superficial y drenajes.....	66
5.4.4.3.1	Control de gases de vertedero.....	67
5.4.4.3.2	Control de lixiviados.....	67
5.4.4.4	Sistemas de supervisión ambiental.....	69
5.4.4.5	Utilización posclausura del terreno.....	70
<b>6</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>71</b>
6.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	71
6.2	POBLACION.....	71
6.2.1	Caño el Ruano.....	71
6.2.2	Laguna No. 1.....	72
6.2.3	El Caño Jesús.....	72
6.2.4	Estero.....	72
6.2.5	Laguna No. 2.....	72
6.2.6	Laguna No.3.....	72
6.2.7	Aguas subterráneas del área del basurero.....	72
6.3	MUESTRA.....	73
6.3.1	Marco muestral.....	73
6.3.2	Unidad de observación.....	73
6.3.2.1	El piezómetro No. 1.....	74
6.3.2.2	El piezómetro No. 2.....	74
6.3.2.3	El piezómetro No. 3.....	75
6.3.2.4	El piezómetro No. 4.....	75
6.3.2.5	El piezómetro No. 5.....	75
6.3.2.6	El piezómetro No. 6.....	75

6.3.2.7	Aguas superficiales No. 1.....	76
6.3.2.8	Aguas superficiales No. 2.....	76
6.3.2.9	Aguas superficiales No. 3.....	76
6.4	VARIABLES.....	77
6.4.1	Demanda bioquímica de oxígeno DBO .....	77
6.4.2	Demanda química de oxígeno DQO.....	77
6.4.3	Fenoles.....	77
6.4.4	Nitratos.....	77
6.4.5	Nitritos .....	78
6.4.6	Turbiedad .....	78
6.4.7	Temperatura.....	78
6.4.8	ph .....	78
6.4.9	Conductividad.....	78
6.4.10	Recuento de aerobios mesófilos .....	79
6.4.11	Coliformes totales.....	79
6.4.12	Coliformes fecales.....	79
6.4.13	Plomo .....	79
6.4.14	Cadmio Cd .....	79
6.4.15	Mercurio Hg.....	79
6.4.16	Zooplancton.....	80
6.4.17	Alcalinidad.....	80
6.4.18	Lixiviados.....	80
6.4.18.1	Arsénico (As).....	80
6.4.18.2	Bario (Ba).....	80
6.4.18.3	Cromo (Cr) .....	80
6.4.18.4	Plata (Ag) .....	81
6.4.18.5	Selenio (Se).....	81
6.5	RECOLECCION DE INFORMACIÓN.....	82
6.5.1	Muestreos.....	82
6.5.1.1	Muestreo No.1.....	82
6.5.1.2	Muestreo No 2.....	82
6.5.1.3	Muestreo No 3.....	83
6.5.1.4	Muestreo de zooplancton. ....	85
6.5.2	Resultados .....	86
6.5.3	Plan de análisis .....	88
6.5.3.1	Determinación de la calidad de las aguas.....	88
6.5.3.1.1	Aguas subterráneas .....	90
6.5.3.1.1.1	Análisis de DBO .....	91
6.5.3.1.1.2	Análisis de DQO .....	93
6.5.3.1.1.3	Análisis de fenoles.....	94
6.5.3.1.1.4	Análisis de nitrato .....	94
6.5.3.1.1.5	Análisis de nitritos.....	95
6.5.3.1.1.6	Análisis de turbiedad .....	96
6.5.3.1.1.7	Análisis de coliformes fecales.....	97
6.5.3.1.1.8	Análisis de coliformes totales .....	97

6.5.3.1.1.9	Análisis de Recuento de aerobio mesófilos .....	98
6.5.3.1.1.10	Análisis de temperatura .....	98
6.5.3.1.1.11	Análisis de pH.....	99
6.5.3.1.1.12	Análisis de conductividad .....	100
6.5.3.1.2	Aguas superficiales .....	101
6.5.3.1.2.1	Análisis de alcalinidad .....	101
6.5.3.1.2.2	Análisis de nitratos.....	102
6.5.3.1.2.3	Análisis de nitritos.....	103
6.5.3.1.2.4	Análisis de turbiedad .....	103
6.5.3.1.2.5	Análisis de temperatura .....	103
6.5.3.1.2.6	Análisis de pH.....	104
6.5.3.1.2.7	Análisis de conductividad .....	105
6.5.3.1.2.8	Análisis de zooplancton.....	106

## **7 PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA ..... 107**

7.1	CIERRE DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA .....	107
7.1.1	Preliminares .....	107
7.1.1.1	Cerramiento.....	108
7.1.2	Ubicación del sitio.....	109
7.1.2.1	Topografía.....	109
7.1.2.2	Proximidad a centros poblados .....	110
7.1.2.3	Proximidad a cursos de agua superficial.....	110
7.1.2.4	Acceso al sitio .....	111
7.1.2.5	Tamaño del sitio .....	111
7.1.2.6	Áreas de contaminación.....	111
7.1.2.6.1	Aire.....	111
7.1.2.6.2	Agua.....	111
7.1.3	Información sobre el clima.....	112
7.1.4	Información geológica, geoquímica e hidrológica.....	112
7.1.5	Análisis de suelos.....	112
7.1.5.1	Metodología para la realización de las pruebas de suelos.....	113
7.1.5.1.1	Porcentaje de Humedad .....	113
7.1.5.1.2	Lavado .....	114
7.1.5.1.3	Límite líquido y límite plástico .....	115
7.1.6	Características y cantidad de los residuos depositados:.....	116
7.1.7	Actividades de clausura.....	117
7.1.7.1	Cobertura final.....	117
7.1.7.2	Manejo de la escorrentía superficial.....	119
7.1.7.3	Control de gases .....	120
7.1.7.4	Control de lixiviados .....	123
7.2	SISTEMAS DE SUPERVISIÓN AMBIENTAL.....	123
7.2.1	Construcción de los piezómetros.....	125
7.2.2	Guía ambiental para el muestreo de aguas subterráneas.....	127

7.2.3	Monitoreo de gas de vertedero.....	128
7.2.4	Monitoreo de la cobertura final.....	129
<b>8</b>	<b>PLAN DE MANEJO POSCLAUSURA.....</b>	<b>130</b>
8.1	IDENTIFICACIÓN.....	130
8.2	INSPECCIONES RUTINARIAS.....	130
<b>9</b>	<b>PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PAISAJÍSTICA.....</b>	<b>131</b>
<b>10</b>	<b>ORGANIGRAMA.....</b>	<b>140</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>141</b>
<b>12</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>144</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>145</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Columna litológica	29
Tabla 2. Datos climáticos Municipio de Arauca	33
Tabla 3. Últimos censos del Municipio de Arauca	37
Tabla 4. Caracterización y Composición de los Residuos Sólidos urbanos en el Municipio de Arauca	39
Tabla 5. Rango de población de ciudades representativas en el manejo de residuos sólidos	40
Tabla 6. Consolidados del sistemas de disposición final de residuos sólidos por ciudades en Colombia	41
Tabla 7. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Guatemala, Chile y Estados Unidos de Norteamérica	42
Tabla 8. Producción per - cápita por rangos de población, 1995	42
Tabla 9. Efectos del pH sobre la vida acuática	50
Tabla 10. Valores típicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad	52
Tabla 11. Principales enfermedades de origen hídrico y los organismos que las causan	59
Tabla 12. Rango de valores de constituyentes de lixiviados en rellenos sanitarios en los EE.UU	61
Tabla 13. Enfermedades producidas por vectores propios de vertederos no controlados	63
Tabla 14. Componentes típicos para la clausura de un vertedero	64

Tabla 15.	Capas típicas para la cubierta final de vertederos o rellenos	65
Tabla 16.	Parámetros que deben muestrearse en los lixiviados	66
Tabla 17.	Ubicación de los pozos de monitoreo de aguas subterráneas	73
Tabla 18.	Cantidad y tipo de parámetros muestreados por unidad de observación	80
Tabla 19.	Generalidades de muestreos en aguas subterráneas	83
Tabla 20.	Generalidades de muestreos en aguas superficiales	84
Tabla 21.	Resultados de análisis de laboratorio de los parámetros muestreados en los diferentes piezómetros	85
Tabla 22.	Resultados de análisis de zooplancton en caño Jesús	86
Tabla 23.	Resultados de análisis de T.C.L.P. de los lixiviados del basurero Municipal de Arauca	86
Tabla 24.	Resultados de análisis de laboratorio de las aguas superficiales	87
Tabla 25.	Comportamiento climático en el municipio de Arauca en los meses de muestreo	88
Tabla 26.	Valores encontrados en los lixiviados del Vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca	88
Tabla 27.	Análisis estadísticos y lógicos de los resultados obtenidos en los muestreos de aguas subterráneas y los máximos permitidos para consumo humano	90
Tabla 28.	Análisis estadísticos y lógicos de los resultados obtenidos en los muestreos de aguas superficiales y los valores máximos permitidos para consumo humano y en aguas no polucionadas	100
Tabla 29.	Zooplancton en Caño Jesús	105
Tabla 30.	Costos del cerramiento	108
Tabla 31.	Cantidad de residuos sólidos urbanos depositados en el vertedero	116

Tabla 32.	Costos de la arcilla necesaria para la capa de control de infiltración	117
Tabla 33.	Costos del material necesario para la capa de control de erosión	118
Tabla 34.	Costo de los materiales para la construcción de las chimeneas	122
Tabla 35.	Costo de los piezómetros	126
Tabla 36.	Inspecciones rutinarias posclausura del vertedero	129
Tabla 37.	Especies vegetales presentes en el vertedero	130
Tabla 38.	Costos para la cobertura de 1 hectárea con grama sp.	132
Tabla 39.	Vegetación a establecer en el área norte del basurero	133
Tabla 40.	Costos de la plantación y mantenimiento de una hectárea reforestada primer año	136
Tabla 41.	Costos totales del establecimiento y mantenimiento por un año de la plantación y cerramiento del vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca	137
Tabla 42.	Costos totales de las obras de recuperación del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca	137
Tabla 43.	Organigrama de actividades	138

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa del Municipio de Arauca	26
Figura 2. Promedio de precipitación mensual en el Municipio de Arauca	34
Figura 3. Valores promedio de humedad relativa mensual en el Municipio de Arauca	34
Figura 4. Valores Promedio de brillo solar mensual en el Municipio de Arauca	35
Figura 5. Valores Promedio de evaporación total mensual en el Municipio de Arauca	35
Figura 6. Valores Promedio de nubosidad mensual en el Municipio de Arauca	36
Figura 7. Valores Promedio de velocidad del viento mensual en el Municipio de Arauca	36
Figura 8. Valores Promedio de temperatura mensual en el Municipio de Arauca	37
Figura 9. Recicladores en el vertedero de residuos sólidos de Arauca	38
Figura 10. Ubicación del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca	38
Figura 11. Dimensión y disposición de los residuos en el vertedero de residuos del Municipio de Arauca	39
Figura 12. Ubicación de las unidades de observación dentro del área de estudio	75
Figura 13. Lixiviados encontrados en el Basurero	89
Figura 14. DBO en aguas subterráneas	90

Figura 15.	DQO en aguas subterráneas	92
Figura 16.	Fenoles en aguas subterráneas	93
Figura 17.	Nitratos en aguas subterráneas	94
Figura 18.	Nitritos en aguas subterráneas	94
Figura 19.	Turbiedad en aguas subterráneas	95
Figura 20.	Coliformes fecales en aguas subterráneas	96
Figura 21.	Coliformes totales en aguas subterráneas	97
Figura 22.	Aerobios mesófilos en aguas subterráneas	97
Figura 23.	Temperatura en aguas subterráneas	98
Figura 24.	PH en aguas subterráneas	99
Figura 25.	Conductividad en aguas subterráneas	99
Figura 26.	Promedios encontrados en aguas subterráneas contra valores máximos permitidos en aguas no contaminadas	100
Figura 27.	Alcalinidad en aguas superficiales	101
Figura 28.	Nitratos en aguas superficiales	101
Figura 29.	Turbiedad en aguas superficiales	102
Figura 30.	Temperatura en aguas superficiales	103
Figura 31.	PH en aguas superficiales	103
Figura 32.	Promedios encontrados en aguas superficiales contra valores máximos permitidos en aguas no contaminadas	104
Figura 33.	Cerramiento de un botadero a cielo abierto	108
Figura 34.	Características de las chimeneas a instalar	122
Figura 35.	Diseño general de un piezómetro de acuerdo a la Norma técnica Colombiana NTC3948	125

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Planos	148
Anexo 2. Resultados análisis laboratorio aguas	148
Anexo 3. Resultados análisis laboratorio suelos	148
Anexo 4. Datos de precipitación Municipio de Arauca últimos 30 años	148

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado realizado para optar al título de ingeniero ambiental, se realiza en el vertedero de basuras a cielo abierto del Municipio de Arauca departamento de Arauca, Republica de Colombia. Contiene el estudio para evaluar el impacto sobre la calidad de las aguas subterráneas y superficiales del área de influencia directa del mencionado vertedero y una propuesta de recuperación paisajística fundamentada en los postulados de la Ingeniería ambiental, considerando las particularidades fisiográficas, climatológicas y económicas de la región.

## **ABSTRACT**

The present grade work carried out to opt to the I title of environmental engineer, is carried out in the drain of garbage to sky open of the Municipality of Arauca department of Arauca, Republic of Colombia. It contains the study to evaluate the impact on the quality of the underground and superficial waters of the area of direct influence of the mentioned drain and a proposal of recovery landscape based in the postulates of the environmental Engineering, considering the particularities physiographical, climatologic and economic of the region.

## INTRODUCCION

El objetivo del presente trabajo de grado es conocer el impacto de los lixiviados producidos en el botadero de basuras a cielo abierto del municipio de Arauca, sobre las aguas subterráneas y superficiales de su área de influencia directa y como aplicación de los fundamentos de la Ingeniería Ambiental, se propone un Plan de Recuperación Paisajística del lugar donde hoy funciona este botadero.

Para la moderna sociedad de consumo, la generación en grandes cantidades de residuos sólidos es una consecuencia lógica de su estilo de vida, que en el último siglo a generados graves problemas ambientales en los grandes y aún en los pequeños asentamientos humanos.

La disposición de basuras en lugares no apropiados para ello, como calles, lotes baldíos, fuentes de agua y patios traseros de las casas, generan impactos visuales al alterar el paisaje, pero también de salubridad pública, al convertirse en foco de proliferación de vectores trasmisores de enfermedades, como ratas, cucarachas, moscas, zancudos y otros que poco a poco van deteriorando la calidad de vida.

Cuando una sociedad organizada, fija un lugar específico para la disposición final de sus residuos sólidos, debe también fijar las recomendaciones técnicas para que esta solución no se convierta en otro problema. En el departamento de Arauca el 100% de sus poblaciones tienen problemas con la disposición final de las basuras, generalmente por desconocimiento de la comunidad en general y de sus gobernantes que consideran normal depositar las basuras en un lugar retirado de la población sin ningún manejo técnico.

Hoy con la importancia dada al medio ambiente desde la creación de la Ley 99 de 1993 y aún en el código nacional de los recursos naturales, Decreto 281/74, la situación no puede ser la misma y debe dársele la importancia que merece al manejo de residuos sólidos. La situación de Arauca se presenta de manera general en Colombia y el resto de América, aunque con ciertos adelantos, especialmente en las grandes ciudades, donde en algunas funcionan rellenos sanitarios que operan siguiendo las técnicas apropiadas.

Para la realización del presente trabajo se realizaron análisis de las aguas subterráneas de la zona aledaña al vertedero en un radio de 300 metros, durante 3 campañas de muestreos hechas durante la época de lluvias en la región, de Julio a Octubre donde en 3 pozos construidos para tal fin y en 3 pozos existentes en fincas circunvecinas a diferentes profundidades y distancias del vertedero se evaluaron los siguientes parámetros: DBO, DQO, nitratos, nitritos, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, recuento de aerobios mesófilos, coliformes totales, coliformes fecales, pH, en el pozo ubicado sobre el basurero además de estos parámetros se evaluaron metales pesados.

Para conocer el estado de las aguas superficiales se muestrearon 3 puntos, el primero en un estero frente al vertedero, los otros 2 antes y después de la zona de acción del vertedero, sobre el caño Jesús ubicado, 360 metros al norte del mismo, tomando muestras para el análisis de nitratos, nitritos, pH, conductividad, temperatura y zooplancton.

Como parte del estudio se realizó el levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico del área dentro del basurero, y altimétrico solamente en 100 metros alrededor del mismo por el norte, occidente y sur con el fin de conocer las pendientes naturales del terreno, la distancia a los caños, la elevación por la disposición de basuras y la ubicación de estas. Este levantamiento se realizó siguiendo las líneas existentes de la cerca original, basados en un plano suministrado por la oficina de planeación municipal. El estudio de suelos del terreno dentro del basurero se llevó a cabo en el laboratorio de suelos del Municipio de Arauca, para realizar la caracterización de los mismos, midiendo límite líquido, límite plástico, humedad natural y lavado.

Basados en los resultados obtenidos en el estudio de suelos, en el levantamiento topográfico y en el análisis de la calidad de las aguas, se propone la recuperación paisajística del lugar, tratando de cumplir las disposiciones del Reglamento Técnico de Agua Potable y saneamiento Básico RAS-2000 y la Guía Ambiental Para el cierre de Botaderos de basura a cielo abierto emanada del ministerio de Medio ambiente sobre el cierre y manejo posclausura de estos sitios.

# **1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1 SITUACIÓN PROBLEMA**

En el Municipio de Arauca, funciona en el kilómetro 3 de la Vía Arauca-Bogotá, vereda Mata de Gallina un vertedero de residuos sólidos a cielo abierto en un área de 9,6 hectáreas, sin ningún tipo de manejo técnico, en una zona de vocación rural, ubicándose pequeñas fincas con ganados y cultivos de pancoger en sus alrededores, quienes utilizan para su consumos las aguas de pozos subterráneos, de esteros circundantes y del caño Jesús. Este vertedero o basurero, comienza su funcionamiento en el año 1992 y hasta el año 2002 recibió el total de los residuos sólidos urbanos producidos en el Municipio los que según el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos equivalían aproximadamente a 4.2 toneladas diarias en el último año, provenientes de todos los sectores de la población, incluyendo los residuos hospitalarios y de matadero. El vertedero se ha convertido en un foco de contaminación donde proliferan vectores que afectan la salud humana, y se altera el normal estado de las aguas y los suelos además de producir olores desagradables y deteriorar el paisaje.

Estas razones motivaron la interposición de una acción popular, por parte del señor Jesús Antonio Reina Barrios Ante el Tribunal Contencioso administrativo de Arauca cuyo fallo del 20 de septiembre del 2001, dio inicio a la gestión por parte de la empresa de servicios públicos EMSERPA, a implementar un sistema de manejo adecuado de los residuos sólidos urbanos el cual reubica el lugar de disposición final de los residuos sólidos.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Verificar por medio de análisis de parámetros de calidad de agua, levantamiento topográfico altimétrico, análisis de suelos y levantamiento de la columna estratigráfica si se ha producido contaminación de las aguas subterráneas y superficiales aledañas al vertedero de residuos sólidos urbanos del Municipio de Arauca, por causa de los lixiviados producidos en este, el cual no han tenido un manejo técnico, y de acuerdo a estos resultados proceder a diseñar los planes de manejo posclausura y de recuperación paisajística de manera tal que no sigan alterando la calidad ambiental del lugar.

## 2 JUSTIFICACION

Uno de los objetivos de la Ingeniería Ambiental es la prevención, corrección y mitigación de los impactos producidos por las actividades antropogénicas, en el medio ambiente natural y que producen daños en la salud humana, por ello se considera muy importante el proceso de cierre definitivo, la evaluación de la contaminación de las aguas alledañas y la recuperación ambiental del área del vertedero de residuos sólidos urbanos del municipio de Arauca, considerando que ya no presta sus servicios como sitio de disposición final.

Desde el punto de vista social y de la salud humana, se justifica la evaluación de la calidad de las aguas de este sector por tanto estas son consumidas por las personas que habitan en los alrededores y sus animales, debido a que hasta allí no llega el servicio de acueducto, además utilizan el caño Jesús como sitio recreativo.

Otro problema de este lugar es la cantidad de bolsas plásticas que se esparcen con el viento y que quedan atrapadas en la vegetación de los potreros vecinos, donde son consumidas por los animales vacunos alterando su proceso metabólico. En la parte de saneamiento ambiental los olores desagradables producidos, tanto como las moscas, los roedores, y la evidente degradación del entorno, ameritan una propuesta de recuperación paisajística del lugar, siguiendo los procedimientos técnicos correspondientes. La restauración ecológica del lugar es necesaria para lograr el equilibrio sistémico alterado significativamente por el proceso de degradación de los recursos naturales presentes en el sector del vertedero.

Este vertedero desde sus inicios no presentó ningún tipo de manejo técnico, salvo unas excavaciones iniciales de aproximadamente 6 metros de profundidad donde se depositaba basura, en un lugar donde el nivel freático en época de invierno es muy alto. Se desconoce el estado de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas circundantes, por cuanto no se realizó ningún monitoreo ni sistema de protección de estas, con respecto a los lixiviados generados, como tampoco se conoce la estratigrafía del terreno que en determinado momento podría frenar o acelerar el proceso de contaminación.

A lo anterior se suma la ubicación estratégica del actual vertedero en el kilómetro 3 de la principal vía que comunica al municipio de Arauca con el interior del país y que próximamente formara parte de un proyecto binacional que pretende conectar Caracas con la carretera Panamericana pasando por Bogotá, lo que hace prioritario tomar medidas correctivas que tiendan al mejoramiento integral del lugar.

Si bien la propuesta presentada en este trabajo no garantiza su ejecución, se convierte en una opción válida, enmarcada en la normatividad legal vigente, y siguiendo las recomendaciones técnicas que para este tipo de situaciones propone la Ingeniería Ambiental.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales del área de Influencia directa del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca y diseñar una propuesta de recuperación paisajística.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Realizar las mediciones de los parámetros de calidad de aguas superficiales y subterráneas.
- Realizar el levantamiento topográfico, planimétrico y altimétrico de la zona del vertedero.
- Diseñar una propuesta para la recuperación paisajística del área del vertedero.
- Elaborar el Plan de Manejo posclausura del vertedero.

## 4 HIPÓTESIS

Las aguas subterráneas y superficiales del área de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca presentan contaminación por materia orgánica y algunos elementos químicos debido a la percolación de los lixiviados producidos por la descomposición de las basuras, y por la escorrentía superficial producida en la época de lluvias que arrastra los lixiviados hasta el caño Jesús y esteros cercanos.

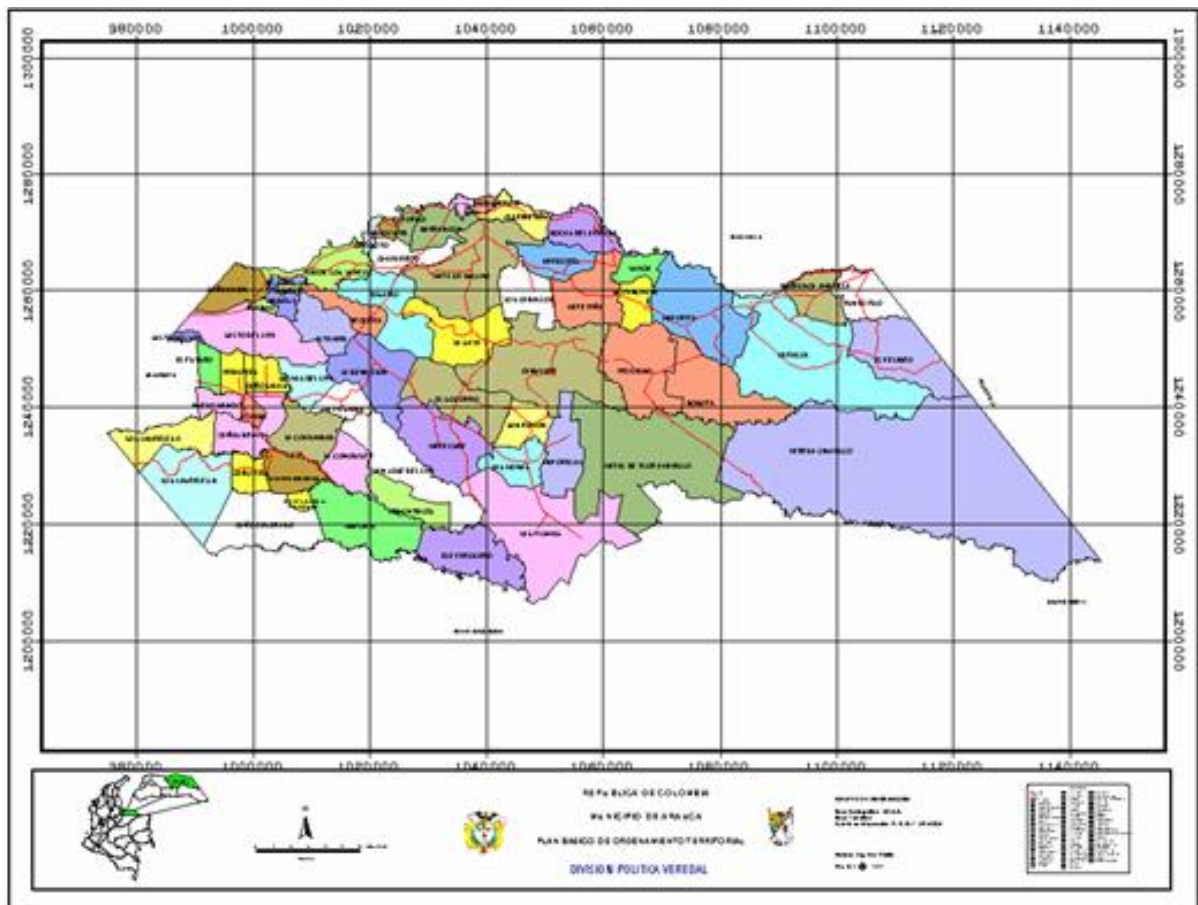
## 5 MARCO TEORICO

### 5.1 MARCO REFERENCIAL

#### 5.1.1 Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realiza en el Municipio de Arauca capital del Departamento de Arauca el cual está ubicado en la cuenca orinocense colombiana al norte de la región geográfica denominada Orinoquía o llanos orientales.

Figura 1. Mapa del Municipio de Arauca



Fuente: PBOT 2000

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) el área total del Municipio de Arauca esta conformada por 689,941.03 hectáreas aproximadamente, divididas en cinco Corregimientos y 56 veredas. El sistema físico-biótico del Municipio de Arauca comprende el conjunto de elementos bióticos y abióticos que constituyen el soporte material de su territorio, los cuales interactúan entre sí, para formar las diversas unidades de paisaje en las cuales puede dividirse el territorio y que son diferentes, definiendo de esta manera su uso y ocupación.

El Municipio de Arauca posee una altura promedio de 130 metros sobre el nivel del mar, una precipitación anual promedio de 1477m.m. y una temperatura promedio de 28 °C (Caropresse, 1988). Ubicada sobre los 07° 03' de latitud norte, y los 70° 45' de longitud al oeste de Greenwich (PBOT Municipio de Arauca, 2000).

Limitando por el norte con la Republica Bolivariana de Venezuela, cuyo limite fronterizo es el río Arauca, desde el punto denominado el Avileño, aguas abajo hasta el sitio las montañitas en Puerto Colombia; por el oriente desde el mojón numero uno de la demarcación terrestre con Venezuela en las montañitas hasta donde es cortada la línea por el río Cinaruco; Por el sur, desde el punto inmediatamente anterior aguas arriba del río Cinaruco hasta el nacimiento del caño La Virgen en los raudales del porvenir, hasta la confluencia de los ríos Ele y Gravo; por el occidente desde este ultimo punto hacia el norte hasta el punto denominado el Avileño sobre el río Arauca (Caropresse, 1988).

### **5.1.2 Geología**

La planicie Araucana en conjunto con toda la Orinoquía plana se origina a partir del mar y el escudo guayanés, el cual cuenta con una edad superior a los 570 millones de años, correspondientes al precámbrico.

Finalizando el mesozoico en el periodo cretácico, las aguas marinas empiezan su retirada, formándose una Gran Cuenca Sedimentaria comenzando en las costas del escudo Guayanés hasta la fosa del Magdalena (Navas, 1985) posteriormente a finales de la era terciaria se levanta la cordillera oriental, hace aproximadamente unos 5,3 millones de años (Burgl, 1961). Los depósitos de las partes baja del Arauca en el Cuaternario estaban conformados por gravas, limos, arenas, areniscas y arcillositas, provenientes de los estratos altos de la cordillera oriental transportados por los ríos (Gossen, 1971). En el Municipio de Arauca se encuentran las siguientes unidades geomorfológicas (IGAC, 1980).

- **Llanura aluvial:** Comprende un 80% del territorio y se describe como la superficie donde los sedimentos finos provenientes de la cordillera se depositaron sobre las estructuras precámbricas del escudo guayanés altitud esta entre los 100 y 200 msnm.
- **Terrazas aluviales:** Son las acumulaciones de material liviano que efectúan los ríos y que quedan al descubierto cuando estos cambian de curso, ocupan aproximadamente el 10% del Municipio de Arauca en las áreas adyacentes al río Arauca.
- **Llanura aluvial con formas dunares:** formada por el 10% del Municipio en su extremo oriental por debajo de los 100 metros sobre el nivel del mar, se caracteriza por depósitos de arena formados por la acción del viento en la época de sequía, con materiales finos provenientes de la cordillera desde la época cretácica.

El régimen de lluvias es monomodal, porque a una temporada única de mayores lluvias, sigue una de menores lluvias, conocidas como invierno y verano. La temporada de lluvias ocurre de abril a noviembre con un 90% del porcentaje total y la seca de diciembre a marzo, con el 10% restante.

La climatología del Municipio esta influenciada por los vientos alisios del noreste y del sureste, por la zona de convergencia intertropical y la presencia de la cordillera Oriental. (IGAC, 1980). La unidad climática del municipio de Arauca es de sabanas naturales y antropogénicas con paisajes de bosques de galería, Matas de monte, Sabanas naturales inundables y no inundables, las unidades mas pequeñas o subpaisajes encontrados son: Vegas de río, Medanales, rondas de fuentes de agua lólicas, Chaparrales, sabanas cubiertas de pastos naturales, lagunas, caños, ríos, esteros y raudales.

### 5.1.3 Suelos

Los suelos del municipio de Arauca, como los suelos de la gran mayoría de la región de la Orinoquía colombiana presentan niveles bajos de fertilidad, bajo contenido de materia orgánica, relacionada con la fertilidad actual y potencial, altos grados de acidez presencia de aluminio en cantidades tóxicas, relieve muy disectado, presencia de materiales petroféricos, topografía depresional, pobre drenaje en extensas áreas y sectores arenosos.

### 5.1.3.1 Columna litológica

El lugar específico donde se encuentra el vertedero presenta la siguiente estratigrafía, de acuerdo a las muestras de suelo extraídas del lugar donde se perforó el piezómetro No.3, 50 metros al límite occidental del vertedero en un potrero donde el terreno no ha sido intervenido, tomando muestra del terreno extraído cada 1,5 metros de perforación con taladro; en la tabla N° 1 se muestra la columna litológica del basurero.

Tabla 1. Columna litológica

<b>COLUMNA LITOLOGICA</b>			
<b>No. MUESTRA</b>	<b>PROFUNDIDAD METROS</b>		<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	0,0	[Hatched pattern]	Limo gris verdoso con contenido de óxidos de hierro y mica
	1,0		
	1,5		
2	2,0	[Hatched pattern]	Limo arcilloso gris verdoso con contenido de óxidos de hierro y mica
	2,5		
	3,0		
3	3,5	[Red solid]	Arcilla roja con alto contenido de humedad
	4,0		
	4,5		
4	5,0	[Red solid]	Arcilla limosa roja con contenido de óxidos de hierro, manganeso y micas
	5,5		
	6,0		
5	6,5	[Red solid]	Arcilla rosada con alto contenido de humedad.
	7,0		
	7,5		
6	8,0	[Red solid]	Contiene material limoso con óxidos de hierro y mica.
	8,5		
	9,0		
7	9,5	[Yellow hatched]	Limo arcilloso color pardo claro con contenido de óxidos de hierro y mica.
	10,0		
	10,5		
8	11,0	[Red solid]	Limo arcilloso rojo con contenido de óxidos de hierro y líticos
	11,5		
	12,0		
9	12,5	[Red solid]	Arcilla rosada con alto contenido de humedad. Contiene material limoso con óxidos de hierro y mica.
	13,0		
	13,5		

10	14,0 14,5 15,0		
11	15,5 16,0 16,5		Arena de grano muy fino color café
12	17,0 17,5 18,0		
13	18,5 19,0 19,5		Arcilla limosa color café con contenido de óxidos de hierro y manganeso
14	20,0 20,5 21,0		Limo arcilloso color café con contenido de mica, óxidos de hierro y manganeso.
15	21,5 22,0 22,5		
16	23,0 23,5 24,0		Arena de grano muy fino color pardo y contenido de mica.
17	24,5 25,0 25,5		
18	26,0 26,5 27,0		
19	27,5 28,0 28,5		
20	29,0		
	29,5 30,0		

### 5.1.3.2 Unidad biofísica de tierra

Las unidades biofísicas de tierra se determinaron de acuerdo al plano de suelos y al estudio de evaluación Biofísica de Tierras del Departamento de Arauca, elaborada con fines agrarios entre la Gobernación de Arauca y CORPOICA, entendidas estas como unidades espaciales geográficas con un comportamiento más o menos homogéneo en cada una de sus variables físicas (geología, geomorfología, clima) y bióticas (suelo, cobertura) (PBOT, 2000).

El lugar donde se encuentra el vertedero de residuos sólidos en estudio pertenece a la asociación venero, vereda Mata de Gallina la cual forma parte de la llanura aluvial de desborde. Se caracterizan por ser superficiales, mal drenados y limitados por un nivel freático alto, encharcamiento, e inundaciones prolongadas.

La asociación se localiza al norte del caño Cabuyaro y llega hasta el río Arauca, formando un complejo de bajos y bancos, separados entre sí por caños que sirven de drenaje; el relieve es plano con micro relieve ligeramente ondulado y pendientes de 0 a 3%, a alturas que varían entre 100 y 150 mts y clima cálido seco. Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos finos recientes y subrecientes, los cuales reciben aportes frecuentes de materiales eutróficos, transportados durante los desbordamientos del río Arauca en la época de invierno.

El suelo Venero se halla ubicado en las áreas depresionales, con un horizonte superficial de 15 cms de espesor, de color en húmedo gris oscuro y textura franco limosa, el cual reposa sobre un horizonte transicional de 25 cms de espesor, de color que varía de pardo grisáceo a gris claro y textura franco limosa a franco arcillo limosa; inmediatamente se encuentra un horizonte arcilloso estructurado, de 25 centímetros de espesor y color gris a gris oscuro, que reposa sobre un C – gleizado de texturas finas. Químicamente su reacción varía de acida a alcalina, en los horizontes inferiores lo mismo que el calcio el cual es alto.

#### **5.1.4 Vegetación**

La vegetación de la llanura aluvial se caracteriza por un complejo de comunidades vegetales con un estrato herbáceo conformado por gramíneas de los géneros *Andropogon*, *aristida*, *Axonopus*, *Leptocoryphium*, *Paspalu* y *Trachipogon* entre otras, con una cobertura irregular, capaz de formar una cobertura pareja como un tapiz o presentarse en macollas distantes unas de otras. En el estrato de las gramíneas se encuentran mezcladas otras plantas y algunas agrupaciones boscosas comúnmente llamadas matas de monte, donde se presentan especies como:

El chaparro (*Curatella Americana*, el alcornoque (*Bowdichia virgilioides*), el guarataro (*Axonopus Purpusie*) el congrio, la Ceiba, Tulúa, *Miconia ferruginosa*, *Miconia albicans*, *Casearia ulmifolia*, *Casearia sp*, *Vismia baccifera*, entre los arbustos, y *Jacaranda copaia*, *Simarouba amara*, *Xylopia aromatica*, *Curatella americana*, *Cochlospermum vitifolium* y *Nectandra sp* entre otras.

También se encuentran los bosques de galería ubicados a lo largo de los arroyos, caños y esteros en fajas que varían en su ancho de acuerdo con el grado de intervención a que hayan sido sometidos, ya que en algunos sectores se destruye este bosque de galería con graves implicaciones en la conservación de las aguas, la calidad de los suelos y la protección de la fauna silvestre.

Los árboles dominantes tienen alturas máximas hasta de 35 metros, con diámetros de copa que varían entre 8 y 12 metros, el diámetro a la altura del pecho es inferior a 35 cms para la mayoría de las especies. Se exceptúan especies dominantes como el cedro macho.

En este tipo de bosque son comunes las siguientes especies: Ceiba Tulúa (*Bombacopsis quinata*), el anime (*Protium sp.*), jabillo (*Ocotea sp.*), guayabo (*Terminalia sp.*), pantano (*Hieronyma macrocarpa*), flor amarillo (*Tabebuia sp.*), tusco (*Pouteria sp.*), lechero (*Olmedia sp.*), corcho (*Apeiba aspera*), hobo (*Spondias mombin*), yarumo (*Cecropia sp.*), carbonero (*Licania sp.*) y leche perra (*Pseudolmedia laevis*).

### 5.1.5 Fauna

La fauna de la región se encuentra relacionada tanto con las formaciones vegetales como con los cuerpos de agua existentes en la zona.

Algunas de las especies más importantes dentro de la zona de influencia son, dentro de los mamíferos: el venado, (*Odocoileus virginianus*), el chigüiro (*Hydrochaeris hydrochaeris*), el picure (*Dasyprocta leporina*), el báquiro (*Tayassu sp.*), algunos de los cuales se encuentran en peligro de extinción; Aves: los patos silvadores (*Dendrocigna sp.*), el pato real (*Cairina mostacha*), pato criollo (*Anas sp.*), la guacamaya bandera (*Ara macao*), azulejo (*Traupis sp.*), pico de plata (*Ramphocelus dimidiatus*) y algunas especies de loros, colibríes, carpinteros, atrapamoscas, entre otros.

Dentro de los reptiles, son abundantes las culebras venenosas del género *Bothrops* (tipo talla x), corales, así como la anaconda (*Eunectes murinus*) y el mato de agua (*Tupinambis nigropunctatus*). Otro reptil de importancia ecológica y económica es la iguana (*Iguana iguana*). En los ecosistemas acuáticos es posible encontrar algunas especies de peces tales como la cachama, morocoto, palometa, bagres, coporo y pavón, el caño Jesús es reconocido por su riqueza en peces ornamentales, los cuales se extraen de manera indiscriminada para los mercados del interior del país.

### 5.1.6 Clima

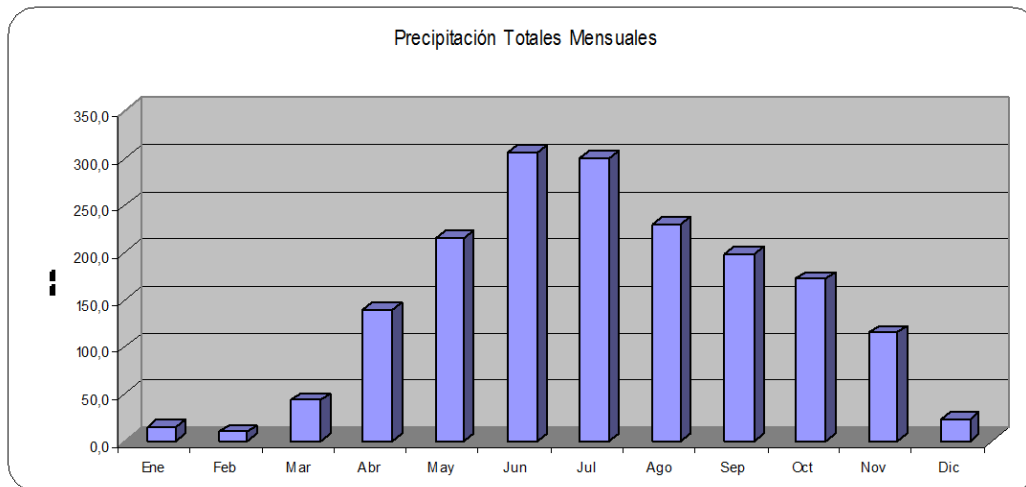
El régimen de lluvias es monomodal, porque a una temporada única de mayores lluvias, sigue una de menores lluvias, conocidas como invierno y verano. La temporada de lluvias ocurre de abril a noviembre con un 90% del porcentaje total y la seca de diciembre a marzo, con el 10% restante. La climatología del Municipio esta influenciada por los vientos alisios del noreste y del sureste, por la zona de convergencia intertropical y la presencia de la cordillera Oriental. (IGAC, 1980). En la tabla 2 se encuentran los datos climáticos promedios del municipio de Arauca, desde 1970 a 1995, como están consignados en el Plan de manejo Integral de residuos sólidos del Municipio de Arauca, trabajo realizado para la Empresa de servicios Públicos de Arauca EMSERPA por la empresa IASA.

Tabla 2. Datos climáticos Municipio de Arauca

PARAMETROS		MESES											TOTALES O MEDIOS	
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov		Dic
Nubosidad (octa)		3	4	4	5	6	6	6	5	5	5	5	4	5
Brillo Solar (Horas)		269,1	223,8	209,4	156	153	135,8	140,5	154,6	177,6	193,6	204,1	239,7	2257,2
Humedad Relativa (%)		71	65	65	74	83	85	86	85	84	83	82	78	78
Tem	Mínimos (°C)	26,2	26,9	26,9	25,9	25,3	24,3	24,6	24,9	25,5	26	26	25,8	24,3
	Maximos (°C)	28,1	29,7	30,1	29,3	27,1	26,8	26,1	26,5	26,9	27,8	27,8	27,8	30,1
	Medios (°C)	27,2	28,2	28,6	27,5	26,4	25,8	25,5	25,9	26,3	26,6	26,8	26,7	26,8
Evaporación (mm)		171,7	176,5	203,0	152,0	114,9	85,3	93,4	99,5	105,2	111,3	112,5	138,2	1.563,5
Velocidad del Viento (ml)		3,6	3,8	3,4	2,2	1,6	1,9	1,5	1,3	1,2	1,8	2,5	3,0	2,4
Precipitación (mm)		14,0	9,3	42,8	138,3	215,3	306,4	299,7	229,8	198,6	171,6	114,7	22,7	1.763,2
Precipitación valores máximos (24 Horas)		7,8	6,9	24,4	45,2	49,6	61,3	54,6	44,5	54,0	49,1	48,0	14,5	38,2

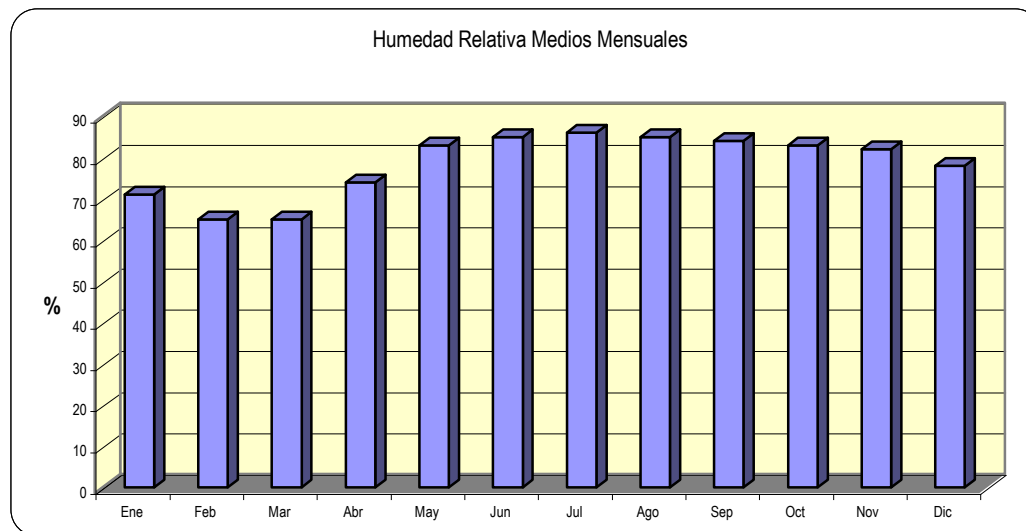
Fuente: Plan de manejo Integral de residuos sólidos del Municipio de Arauca

Figura 2. Promedio de precipitación mensual en el Municipio de Arauca



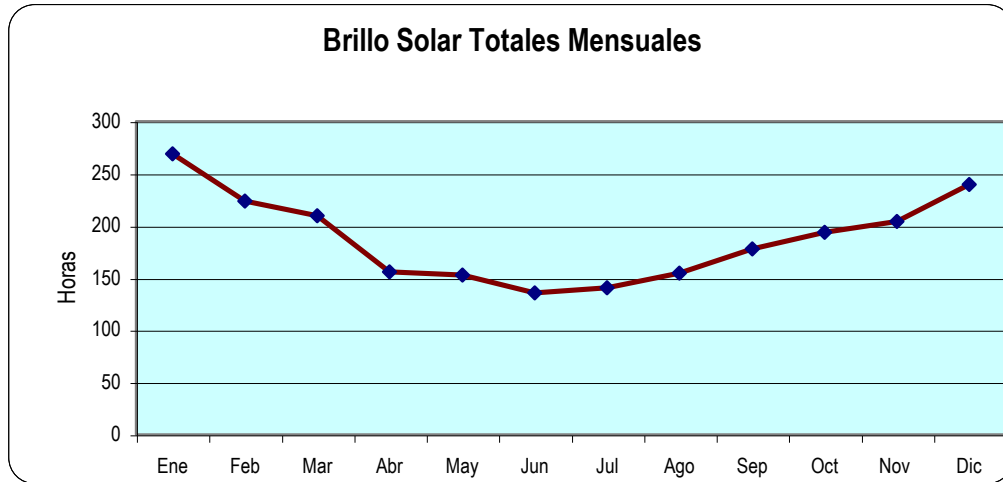
Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 3. Valores promedio de humedad relativa mensual en el Municipio de Arauca



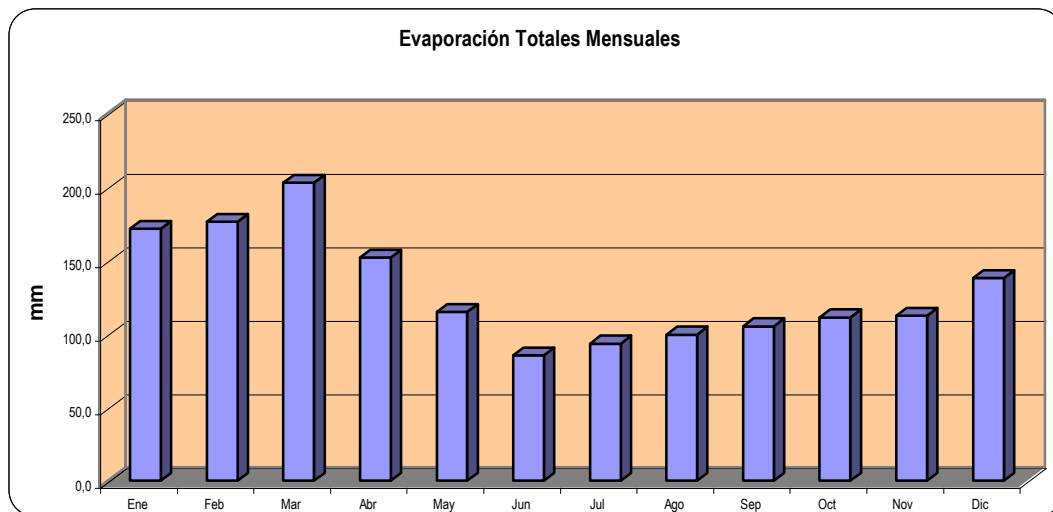
Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 4. Valores Promedio de brillo solar mensual en el Municipio de Arauca



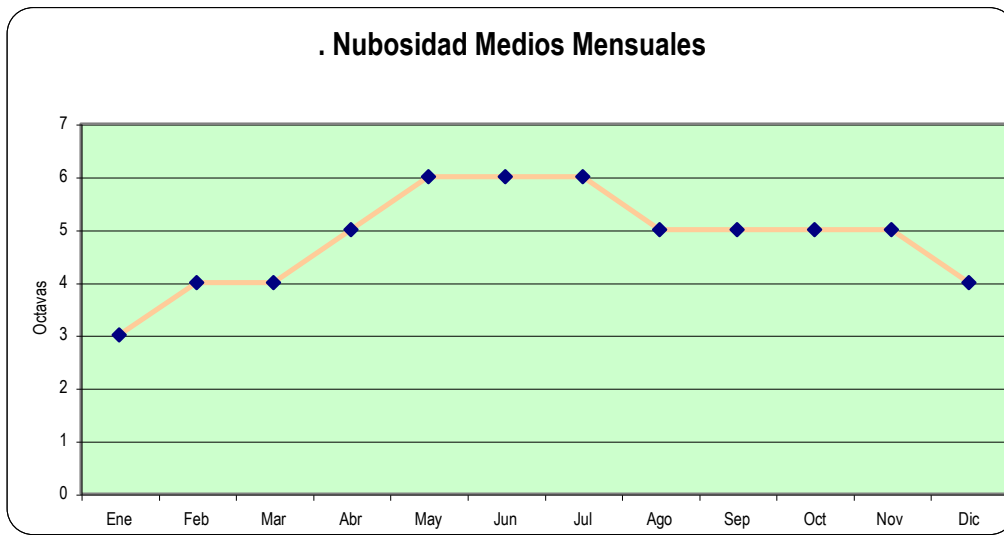
Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 5. Valores Promedio de evaporación total mensual en el Municipio de Arauca



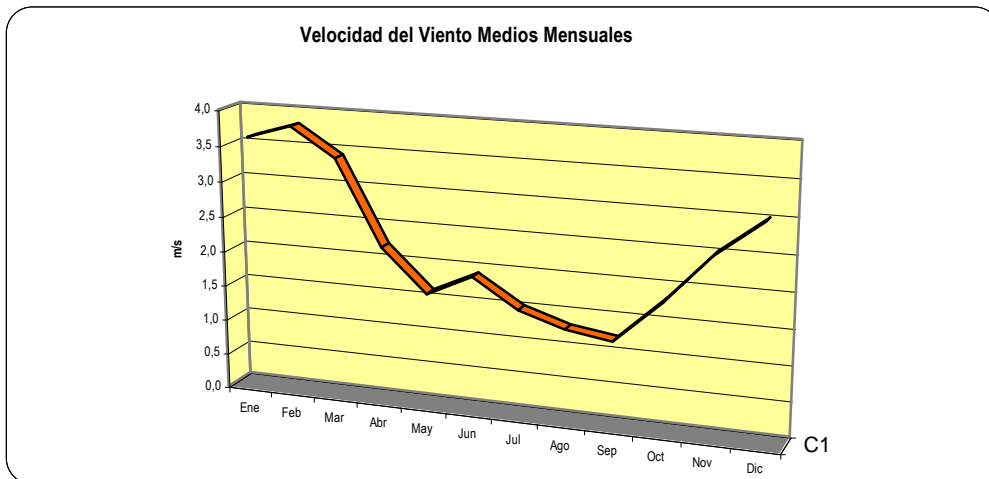
Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 6. Valores Promedio de nubosidad mensual en el Municipio de Arauca



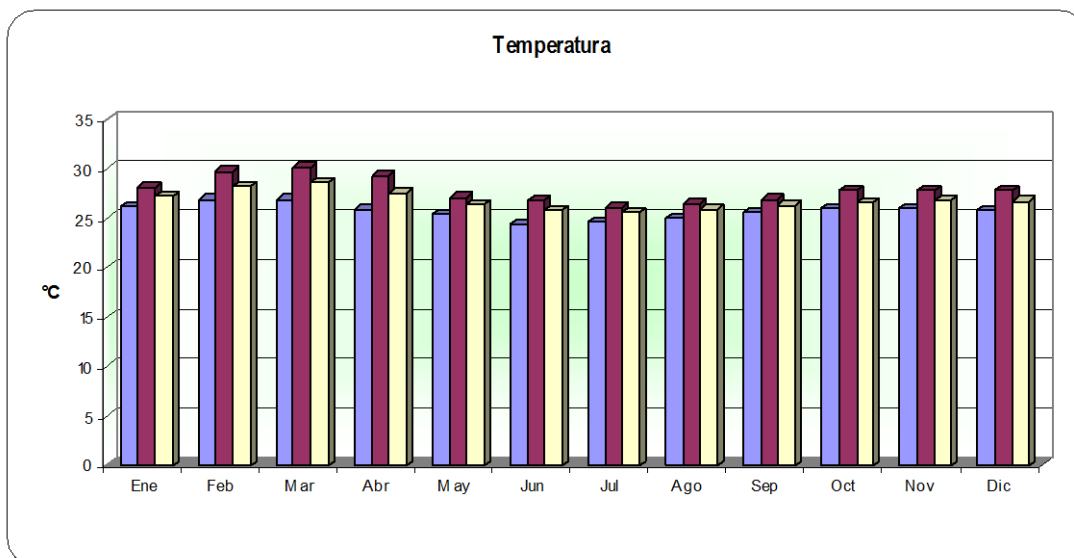
Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 7. Valores Promedio de velocidad del viento mensual en el Municipio de Arauca



Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

Figura 8. Valores Promedio de temperatura mensual en el Municipio de Arauca



Fuente: IDEAM EN PMIRS EMSERPA

### 5.1.7 Población

El Municipio de Arauca cuenta con una población aproximada de 87000 habitantes según la proyección del DANE para el año 2004, ubicando 66000 en el área urbana. Según datos suministrados por el DANE la población en el Municipio de Arauca tiene una tasa de crecimiento del 1,5% anual.

Tabla 3. Últimos censos del Municipio de Arauca

SECTORES	1964	1973	1985	1993
Urbano	4.280	3.680	15.810	38.916
Rural	3.063	9.541	5.469	880
<b>Total</b>	<b>7.965</b>	<b>13.221</b>	<b>21.279</b>	<b>39.796</b>

Fuente: DANE. CENSOS

### 5.1.8 Manejo de residuos sólidos

El manejo de los residuos sólidos esta a cargo de la Empresa de servicios públicos de Arauca EMSERPA, conformada mediante un Decreto que tiene como fundamento jurídico la Ley 133 de 1986, lo que la convierte en una empresa de carácter industrial y comercial a nivel municipal. Según datos suministrados por la empresa de servicios públicos de Arauca EMSERPA el Área urbana del Municipio de Arauca genera 0.77 Kg. diarios de residuos por persona y un total de 40.2 toneladas diarias para el año 2002

Figura 9. Recicladores en el vertedero de residuos sólidos de Arauca



Fuente: EMSERPA 2002

Tabla 4. Caracterización y Composición de los Residuos Sólidos urbanos en el Municipio de Arauca

Materiales	Porcentaje (%)	Peso (Kg)	Materiales	Porcentaje (%)	Peso (Kg)
Cartón	12.1	149.3	Palos	1.1	13.8
Cáscaras	9.1	113	Papel	16.4	203
Frutas	.2	2	Plásticos	9.4	115.9
Hierbas	0.6	10	Tierra	4.5	55.3
Hojas	16.0	195	Trapos	1.5	18.4
Huesos	1.4	17	Vidrios	5.1	62.8
Latas	1.3	16	Otros	.3	3.8
Materia orgánica	21.0	259.3	<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1234.6</b>

Fuente: EMSERPA 2002

La composición física a nivel residencial, tiene un predominio de hojas, cáscaras y materia orgánica y un porcentaje alto en plásticos. A partir del año 2003 entra en funcionamiento Plan de Manejo Integral de Residuos Solidó del Municipio de Arauca, el cual cambia el lugar de disposición final de los residuos, e introduce el tratamiento de los mismos para reciclaje, producción de bioabono e incineración de los rechazos. El Lugar del antiguo vertedero presenta un muro que quizá cuando se inicio el uso del vertedero cumplía la función de aislar visualmente el desorden allí presente pero que hoy día no cumple ninguna función considerando las dimensiones tan grandes y descontroladas de los residuos allí depositados. Hasta inicios de 2004 la administración Municipal procedió a encerrar el lugar del vertedero para evitar el continuo depósito de residuos por parte de entidades oficiales, de particulares y de la misma empresa de servicios públicos.

Figura 10. Ubicación del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca

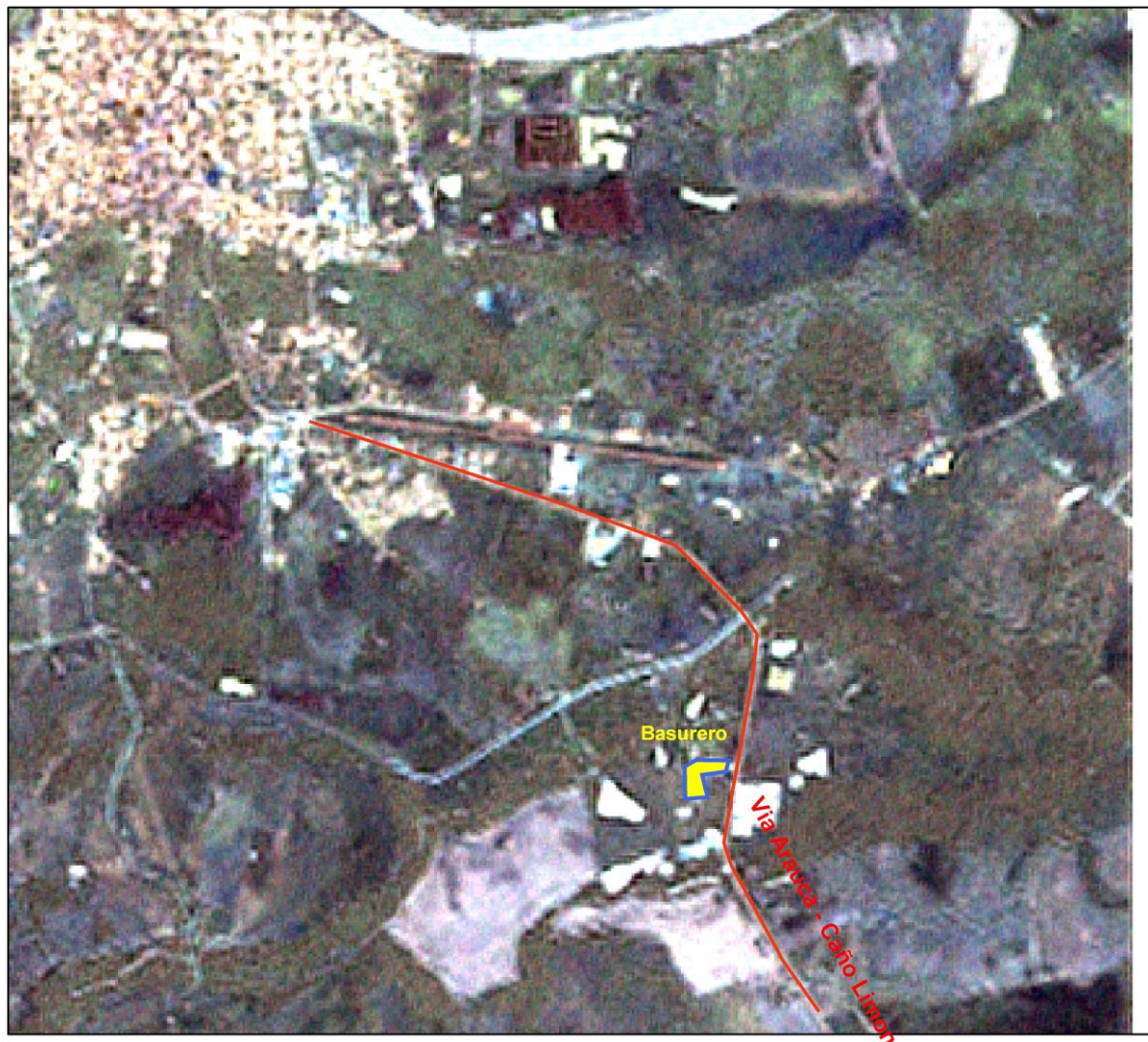


Figura 11. Dimensión y disposición de los residuos en el vertedero de residuos del Municipio de Arauca



Fuente EMSERPA 2003

## 5.2 MARCO HISTORICO

El manejo técnico de los residuos sólidos es algo común en estados unidos y Europa, pero en los países del segundo y tercer mundo es un tema relativamente nuevo, que ha venido cobrando importancia a raíz de los graves problemas ambientales y de salud que ha generado los botaderos a cielo abierto.

En Colombia según la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico, 43% de las 1.065 cabeceras municipales no tiene servicio de aseo y 34% tiene algún tipo de organización de empresa de aseo; en el resto de los casos, el servicio lo ejecuta directamente la alcaldía, para lo cual no cuenta con un presupuesto independiente ni con equipo adecuado.

La Comisión asegura que 32% de los residuos son dispuestos sanitariamente, siendo el criterio empleado por la Comisión para considerar la exigencia de disposición sanitaria que se cuente con un sitio específico adonde llevar la basura y en el cual exista tecnología de enterramiento. En el país, existe muy poca información en relación al sector. Para el presente análisis, se utilizó información gubernamental -particularmente la obtenida en 1994 por el Ministerio de Desarrollo, así como la compilada por el Estudio Nacional de Contaminación Industrial que adelantó el DNP.

Adicionalmente, se tomó la información proporcionada por 30 municipios que han solicitado crédito a FINDETER para el servicio de aseo, específicamente en lo referente a necesidades de infraestructura y costos operacionales. Para el análisis, se agrupó a los diferentes municipios del país según rangos de población y se realizó un muestreo seleccionando localidades consideradas como representativas del manejo de residuos sólidos dentro de cada uno de los siguientes siete rangos de población:

Tabla 5. Rango de población de ciudades representativas en el manejo de residuos sólidos

CIUDAD	RANGO DE POBLACION
Bogotá	> 2.000.000 habitantes
Cali, Medellín y Barranquilla	1.000.000 a 2.000.000 habitantes
Ciudades	200.000 a 1.000.000 habitantes
Ciudades	100.000 a 200.000 habitantes
Ciudades	50.000 a 100.000 habitantes
Ciudades	10.000 a 50.000 habitantes
Ciudades	< 10.000 habitantes

Fuente: Findeter.

El grupo de consultores diseñó una encuesta que fue enviada a las ciudades y municipios seleccionados, con el fin de tener una base de datos unificada que permitiera hacer estimaciones para cada rango de población estudiado.

Tabla 6. Consolidados del sistemas de disposición final de residuos sólidos por ciudades en Colombia

No.	CIUDAD	SISTEMA DISPOSICIÓN FINAL	SISTEMA CONTROL LIXIVIADOS	TIPO RESIDUOS DISPUESTOS	ÁREA TERRENO (HA)
1.	Bogotá	Relleno sanitario	Si	Todos	
2.1	Medellín	Relleno sanitario	No	Todos	73
2.2	Barranquilla	Botadero	No	Todos	27
2.3	Cali	Botadero	--	Se separan patógenos	40
3.1	Cartagena	Relleno			
3.2	Santa Marta	Botadero	No	Todos	8
4.1	Palmira	Botadero	No	Todos	
4.2	Jamundí	Botadero Navarro <sup>3</sup>	--	...-	--
4.3	Buenaventura	Bahía del mar	--	...-	--
4.4	Popayán	Relleno sanitario El Cajete	No	Todos	12
4.5	Floridablanca	Botadero Carrasco <sup>4</sup>			
5.1	Riohacha	Botadero	No	Todos	9
5.2	Buga	Botadero Guacarí	--	...-	-
5.3	Yumbo	Botadero Navarro <sup>3</sup>	--	...-	--
6.1	Aracataca	Botadero y grúas	No	Todos	
6.2	El Banco	Botadero	No	Todos	

6.3	Caicedonia	Relleno Altos Barragán			
6.4	Calima				
6.6	Libano	Botadero	No	Todos	
6.7	Manatí	Botadero			
6.8	Juan de Acosta	Relleno Manual			
6.9	Aguazul	Relleno Manual			
6.10	Madrid	Botadero Mondoñedo	No	Todos	--
6.11	Mosquera	Botadero Mondoñedo	No	Todos	--
6.12	La Meza	Botadero Mondoñedo	NO	Todos	--
6.13	Ginebra	Botadero			
7.1	Cerro San Antonio	Botadero	No	Todos	
7.2	Guamal	Botadero y anexo aguas	No	Todos	
7.3	San Zenón	Río Magdalena			
7.4	Calima El Darién	Botadero	No	Todos	
7.5	Ponedera	Botadero	No	Todos	
7.6	Funza	Botadero Mondoñedo	No	Todos	

Tabla 7. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Guatemala, Chile y Estados Unidos de Norteamérica

COMPONENTE	GUATEMALA <sup>1</sup>	CHILE <sup>2</sup>	EUA
Materia orgánica	63,3	58,0	17,0
Papel y cartón	13,9	14,8	44,0
Madera y hojas	0,9	-	3,0
Textiles	3,6	4,2	2,0
Plástico	8,1	7,1	5,0
Goma y piel	0,8	...	...
Metales	1,8	3,0	9,0
Vidrios	3,2	2,9	14,0
Piedra y material cerámico	1,4	4	...
Tierra y cenizas	3,0	6	4

Tabla 8. Producción per - cápita por rangos de población, 1995

CIUDAD	DEPARTAMENTO	HABITANTES	TONELADAS DIARIAS	PPC
1. Bogotá	Cundinamarca	5.698.566	4.225,00	0,74
2.1 Medellín	Antioquia	1.484.757	977,00	0,65
2.2 Barranquilla	Atlántico	1.000.283	924,00	0,92
2.3 Cali	Valle del Cauca	1.812.876	1.400,00	0,77
3.1 Cartagena	Bolívar	576.307	8,47	0,93
3.2 Santa Marta	Magdalena	210.915	245,00	1,10
4.1 Palmira	Valle del Cauca	189.483	120,00	0,63
4.2 Jamundí	Valle del Cauca	101.550	45,00	0,44
4.3 Buenaventura	Valle del Cauca	187.000	180,00	0,96
4.4 Popayán	Cauca	...	112,00	...
4.5 Floridablanca	Santander	195.000	90,41	0,45

5.1 Riohacha	Guajira	79.618	80,00	1,00
5.2 Buga	Valle del Cauca	87.500	80,00	0,91
5.3 Yumbo	Valle del Cauca	...	...	...
6.1 Aracataca	Magdalena	16.023	5,60	0,35
6.2 El Banco	Magdalena	33.515	17,60	0,40
6.3 Caicedonia	Valle del Cauca	27.337	14,00	0,34
6.4 Calima	Valle del Cauca	7.194	9,40	0,95
6.5 Candelaria	Valle del Cauca	15.789	11,00	0,45
6.6 Líbano	Tolima	29.000	16,00	0,55
6.7 Manatí	Atlántico	6.724	1,00	0,30
6.8 Juan de Acosta	Atlántico	6.724	1,00	0,30
6.9 Aguazul	Casanare	7.073	3,71	0,53
6.10 Madrid	Cundinamarca	36.000	8,00	0,22
6.11 Mosquera	Cundinamarca	20.000	20,00	1,00
6.12 La Meza	Cundinamarca	21.278	14,00	0,65
6.13 Ginebra	Valle del Cauca	14.461	3,00	0,47
7.1 Cerro San Antonio		9.446	2,80	0,30
7.2 Guamal	Magdalena	...	3,20	0,35
7.3 San Zenón	Valle del Cauca	2.010	0,60	0,30
7.4 Calima El Darién	Atlántico	...	...	...
7.5 Ponedera	Cundinamarca	...	...	...
7.6 Funza		6.000	2,00	0,33

Las grandes capitales del país hasta hace pocos años manejaban los residuos sólidos igual que en el Municipio de Arauca. Según un informe de la CEPIS sobre modelos de privatización de empresas de manejo de residuos sólidos en América latina en ciudades importantes del Brasil como Brasilia, Belo Horizonte, Porto Alegre y muchas otras de Perú, Colombia y Ecuador, los servicios de manejo de residuos sólidos están a cargo de organismos autónomos municipales. En Bolivia, bajo el plan GARSU (Gestión Ambiental de Residuos Sólidos Urbanos), las ciudades de Tarija, Sucre, Cochabamba y Trinidad han decidido iniciar sus propios servicios a través de organismos autónomos e independientes de manejo de residuos sólidos. (Costa, 1997).

En Colombia, de acuerdo con la Ley de Servicios Públicos de 1994, Ley 57142, es obligatorio que la provisión de servicios públicos tales como agua y desagüe, electricidad, teléfono, esté atendida por empresas municipales, como EMSIRVA en Cali, Empresas Varias de Medellín y Empresas Públicas de Bucaramanga. Hasta hace poco en Bogotá existía EDIS, la empresa del gobierno municipal que fue cerrada en 1994 debido a su bajo desempeño. Después de un análisis comparativo del rendimiento, desde 1989, el municipio de Bogotá reemplazó los servicios de este organismo por cuatro contratistas privados. Desde entonces, los servicios de recolección y barrido de calles han estado a cargo de cuatro contratistas (Aseo Capital, Ciudad Limpia, Corpoaseo Total y Lime) y las operaciones del relleno sanitario a cargo del contratista Prosantana. (Costa, 1997).

### 5.3 MARCO LEGAL

La Constitución Política determina en los artículos 79, 80 y en el numeral 8° del artículo 95, la obligación del Estado de proteger la diversidad del ambiente, de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental y el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano; así mismo consagra como deber de los ciudadanos proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano.

El Decreto Ley número 2811 de 1.974, conocido como Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente, en el artículo 34, establece que para el manejo de los residuos sólidos se utilizarán los mejores métodos, de acuerdo con los avances de la ciencia y tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos sólidos, basuras, desperdicios y, en general, de desechos de cualquier clase y en el artículo 36 señala que para la disposición o procesamiento final de las basuras se utilizarán, preferiblemente, los medios que permitan:

- Evitar el deterioro del ambiente y de la salud humana.
- Reutilizar sus componentes.
- Producir nuevos bienes.
- Restaurar o mejorar los suelos.

Con estas disposiciones comienza la legislación colombiana a darle valor al manejo de los residuos sólidos. La *Ley 09 de 1.979* conocida como Código Sanitario Nacional, en el Título I, "Para la Protección del Medio Ambiente" establece:

a) las normas generales que servirán de base a las disposiciones y reglamentaciones necesarias para preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana.

b) los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o puedan afectar las condiciones sanitarias del ambiente, entendiéndose por condiciones sanitarias del ambiente las necesarias para asegurar el bienestar y la salud humana. Así mismo ésta Ley incorpora los artículos 34 al 38 del Código de Recursos Naturales, comentados anteriormente, con lo cual consolida el componente ambiental del manejo de los residuos sólidos.

En desarrollo de la Ley 09 de 1.979 se reglamentan parcialmente el Título III de la parte IV del Libro I del Decreto Ley 2811 de 1.974 y los Títulos I y XI de la Ley 09 de 1.979 en cuanto a residuos Sólidos, a través del Decreto número 2104 del 26 de julio de 1.983, en el cual contiene los principios básicos para la prestación del servicio público de aseo, el componente sanitario y ambiental. Instrumento normativo que sirvió de base para el desarrollo del sector de aseo y sus actividades complementarias, entre ellas el reciclaje y recuperación de los residuos. Posteriormente, mediante la *Ley 99 de 1.993 se crea el Ministerio del Medio Ambiente*, que reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

En los numerales 2, 10, 11 del artículo 5° precisan como funciones del Ministerio del Medio Ambiente, el regular las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, determinar las normas ambientales mínimas y las regulaciones de carácter general sobre medio ambiente a las que deben sujetarse los centros urbanos y asentamientos humanos y en general todo servicio o actividad que pueda genera directa o indirectamente daños ambientales, y dictar regulaciones de carácter general tendientes a controlar y reducir las contaminaciones geosférica, hídrica del paisaje, sonora y atmosférica en todo el territorio nacional. Con la creación de la ley 142 de 1.994 del Ministerio de Desarrollo Económico se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible. Así mismo se establece la intervención del Estado en los servicios públicos. Puede concluirse que la Ley 142 de 1.994, establece el ordenamiento del servicio público domiciliario de aseo en un marco de actuación ambiental que deben cumplir los responsables por la prestación del respectivo servicio a nivel municipal.

El Ministerio de Desarrollo Económico, mediante el Decreto 605 de 1.996, reglamentario de la ley 142 de 1.994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo, establece las normas orientadas a regular el servicio público domiciliario de aseo en materias referentes a sus competencias, niveles, clases, modalidades y calidad, y al régimen de las entidades prestadoras del servicio y de los usuarios; así mismo establece los principios básicos para garantizar la calidad del servicio a toda la población, prestar eficientemente el servicio en forma continua e interrumpida, obtener economías de escala y establecer mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso al servicio y su participación en la gestión y fiscalización de la prestación.

Por otra parte, establece que es responsabilidad de los municipios asegurar que se preste a sus habitantes el servicio público domiciliario de aseo, y que la responsabilidad por los efectos ambientales y a la salud pública generados por la recolección, el transporte y la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios

recae en la persona prestadora del servicio de aseo, la cual deberá cumplir con las disposiciones del decreto 605 y las demás relacionadas con la protección del medio ambiente y la salud pública.

La resolución 1096 del 17 de noviembre de 2.000 el Ministerio de Desarrollo adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento básico – RAS. El cual fija las normas técnicas para la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema o cada uno de sus componentes en particular.

En el Capítulo XV reglamenta sobre Sistemas de Aseo Urbano y el artículo 190, contempla el procedimiento a seguir para el control ambiental de rellenos sanitarios tratamiento de los lugares de disposición de residuos sólidos urbanos. El reglamento Técnico para el sector Agua Potable y Saneamiento Básico en la sección II Título F trata sobre sistemas de aseo urbano y en los numerales F.6.5 al F.6.5.4, reglamenta específicamente sobre clausura de rellenos sanitarios.

La Ley 790 de 2002 se determina el cambio de denominación del Ministerio del Medio Ambiente a Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Conforme al Decreto 216 de 2003, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, continuará ejerciendo las funciones establecidas en la Ley 99 de 1993.

El Decreto 1594 de 1984 del ministerio de Salud sobre los usos del agua y residuos líquidos, establece los criterios de calidad para ser utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso.

El decreto 475 del Ministerio de salud sobre potabilización de agua, fija parámetros de calidad de agua potable y “agua segura”, considerada esta última como agua no potable, pero que puede ser utilizada para consumo humano en condiciones de crisis.

## 5.4 MARCO CONCEPTUAL

### 5.4.1 Calidad del agua

Cuando se habla de calidad del agua, relacionada con el manejo de residuos sólidos es importante tener en cuenta la importancia y caracterización del suelo para entender el comportamiento de los contaminantes hasta el agua subterránea.

El suelo está constituido de materia sólida, agua y aire, a partir de determinada profundidad, su nivel freático se encuentra saturado de agua libre que forma la capa freática, esta se mueve a bajísima velocidad en el sentido de la presión inferior, acompañando en general a la inclinación del terreno; aflora en depresiones y pozos y encuentra ríos y lagos, cediéndoles agua eventualmente recibiendo de ellos. Además de moverse horizontalmente, el agua se mueve en dirección vertical por efecto de la gravedad, por ascensión capilar entre los granos del suelo, retirada por raíces vegetales o por la recarga del suelo debido a las lluvias. Por tales razones, el nivel freático no es constante pero presenta una variación estacional relativamente bien definida. Como consecuencia de esos movimientos del agua freática, una sustancia contaminante que percola a través del suelo encuentra un vehículo y adquiere gran movilidad al alcanzar el nivel freático.

En determinados sitios se encuentran reservorios de agua formados por roca y suelo impermeables, que también se comunican con aguas superiores a través de fisuras y otras fallas. El acuífero es naturalmente protegido por la capa de suelo superior.

La percolación del contaminante depende de la permeabilidad del suelo y ésta depende del tamaño de los granos que lo constituyen (textura), de la disposición de estos granos estructurando el suelo y del grado de saturación por agua absorbida o capilar. De modo general, un suelo de arena es permeable y uno de arcilla es impermeable.

La permeabilidad se caracteriza por un coeficiente (K) que en las arenas es del orden de  $10^{-1}$  a  $10^{-3}$  cms/ s, y en los suelos arcillosos es de  $10^{-5}$  a  $10^{-8}$  cms/s. Tales valores significan, por ejemplo, que la resistencia a la percolación en un suelo de  $K = 10^{-8}$  cms/s es 1millonésimo de aquella ofrecida por un suelo de  $K = 10^{-2}$  cms/ s y, por lo tanto, la distancia de 1 mm al primer suelo es recorrida en el mismo tiempo que 1 Km. en el segundo (Rodríguez, 1998).

El lento pasaje del líquido por el suelo atenúa su poder contaminante. Además de esto, las partículas sólidas tienden a colmatar el suelo, disminuyendo su permeabilidad salvo efectos químicos adversos.

La capacidad que tienen los suelos arcillosos de retener agua en sus intersticios, tornándose impermeables, es aliada a un fenómeno iónico, el cual puede ser afectado por un intercambio de iones de la arcilla (en solución coloidal) con iones contenidos en el líquido que percola, rompiendo la impermeabilidad.

El agua es el compuesto químico formado por la unión de una molécula de oxígeno con dos moléculas de hidrógeno, sin embargo bajo estas condiciones de pureza nunca encontraremos el agua en la naturaleza, la cual por lo general se encuentra con trazas o grandes cantidades de otros elementos, o compuestos, adquiridos de la atmósfera o del medio en que se encuentre.

La enorme capacidad de solvencia que presenta el agua, hace posible la presencia en ella de diversos elementos, en forma de solución, las cantidades de algunos de estos elementos son tan insignificantes que no revisten mayor importancia sin embargo algunos, por la concentración o por su naturaleza pueden resultar perjudiciales desde el punto de vista económico o para la salud humana y animal, directa o indirectamente, dependiendo de los usos del agua.

Estos elementos o compuestos entran a modificar las características, físicas, químicas y microbiológicas del agua, perceptibles algunas a simple vista y en otras se hace necesario el análisis especializado para identificarlas. La calidad del agua es el compendio de características físicas, químicas y microbiológicas, en función de su uso, mediante las cuales se cuantifica su grado de rechazo o aceptabilidad, cada país de acuerdo a su grado de avance o siguiendo las directrices de la Organización mundial de la salud –OMS y/o de la Organización Panamericana de la Salud -OPS, estandariza las mediciones válidas de estos parámetros utilizados como indicadores de acuerdo al uso del agua.

#### **5.4.1.1 Características físicas**

Estas comprenden aquellas características percibidas a través de los órganos de los sentidos y que afectan directamente el aspecto externo del agua. Para efectos del presente trabajo se estudiarán solo la turbiedad, la conductividad y la temperatura, sin embargo están incluidos el olor, el sabor y el color.

##### **5.4.1.1.1 Turbiedad**

Es la propiedad óptica de una muestra de agua para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta. Se utiliza esta expresión para describir las partículas no solubles de arcilla, limo, materia mineral, basuras orgánicas, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua, estas partículas están en suspensión o en estado coloidal, con diámetros menores a  $10^{-3}$  mm y que comunican la capacidad de diseminar un rayo de luz (Pérez, 2000).

La turbiedad se expresa en UT (unidades de turbiedad) y UTN (unidades nefelométricas), la primera es una cantidad empírica basada en el turbidímetro de bujía de Jackson y se produce al agregar 1 Mg. de sílice a 1 litro de agua destilada. Actualmente se utilizan más los turbidímetros basados en principios nefelométricos y la preparación de patrones de turbiedad con suspensiones de polímeros de hidracina y se expresa como UTN.

#### **5.4.1.1.2 Temperatura**

Este parámetro actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, la absorción de oxígeno y bióxido de carbono de la atmósfera por el agua e influye en la proliferación de algas y en la precipitación de compuestos (Pérez, 2000). Básicamente es importante por su efecto en otras propiedades como aceleración de reacciones químicas, reducción en la solubilidad de gases e intensificación de sabores y olores (Tebbutt, 2001).

Según el IDEAM La temperatura del agua tiene gran importancia por el hecho de que los organismos requieren determinadas condiciones para sobrevivir (organismos estenotérmicos y euritérmicos). Este indicador influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como el pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas. Las aguas superficiales en condiciones naturales de la zona del estudio de acuerdo al IDEAM, presenta valores entre 20 y 25 °C.

#### **5.4.1.1.3 Conductividad**

La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica; depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia, concentración relativa y temperatura de medición y se expresa en micro Siemens por centímetro (mS/cm). El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja.

El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. <http://www1.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/100CoAcu.htm>

La conductividad es un indicador del contenido de sales disueltas o de minerales en el agua (IDEAM). La mayoría de los ácidos, bases y sales inorgánicas como: HCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Na Cl son mejores conductores que las moléculas de compuestos orgánicos como: sacarosa y benceno, la conductividad representa la concentración de sales en aguas naturales, permite descubrir la variación de los sólidos disueltos.

La conductancia específica (KS) de una solución, es la conductancia de 1 cc, de una solución entre 2 electrodos de 1 cm<sup>2</sup> de área, separados 1 cms y tiene como unidades mhos/cm. El equipo de medición de la conductividad utiliza el principio del puente Wheastone, trabaja con corrientes alternas para evitar cambios en la composición de los electrodos. Realmente lo que se mide es la resistencia, pero la lectura que hace el instrumento ya está convertida a conductancia, esta medición se realiza a temperatura ambiente 25°C.

De acuerdo al IDEAM Los sólidos disueltos totales, expresados en mg/L, pueden ser obtenidos por multiplicación de la conductividad por un factor comprendido entre 0,55 y 0,75. Este factor puede ser determinado para cada cuerpo de agua, pero permanece aproximadamente constante, según las proporciones iónicas en el cuerpo de agua y si éstas permanecen estables. También Establece un valor entre 0 a 100 mS/cms como valor típico de las aguas naturales no intervenidas en el área de estudio.

#### **5.4.1.2 Características químicas**

Las características químicas del agua están dadas por los compuestos o elementos químicos que se presenten en ella. Los parámetros químicos contemplados por la normatividad competente dependen del tipo de agua utilizada, los usos asignados y los posibles vertimientos a los que estén expuestas, en este caso particular por tratarse de aguas expuestas a recibir los lixiviados de un basurero a cielo abierto se contemplan los siguientes parámetros:

PH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Fenoles, Nitratos, Nitritos, alcalinidad, plomo, Cadmio y Mercurio. A continuación se presenta una conceptualización de cada uno de ellos de acuerdo a la literatura existente y las normas ambientales aplicables.

### 5.4.1.2.1 pH

Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua en este caso, mediante la concentración del ión hidrógeno. La escala de pH esta de 0 a 14 con 7 como neutralidad, con la acidez por debajo de 7 y la alcalinidad por encima de 7. El pH controla muchas reacciones químicas y la actividad biológica normalmente se restringe a una escala bastante estrecha de pH entre 6 y 8. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a que son corrosivas o presentan dificultades en el tratamiento (Pérez, 2000).

Tabla 9. Efectos del pH sobre la vida acuática

VALORES DEL PH MÍNIMO - MÁXIMO	
4.0- 10	Límite para los peces más resistentes
5.0 – 9.0	Rango tolerable para la mayoría de los peces
5.4 – 11.14	Los peces evitan las aguas más allá de estos límites
6.0 – 7.2	Rango óptimo para las huevas de peces
1.0	La larva del mosquito muere por debajo de este valor
3.0 – 4.7	La larva del mosquito vive en este rango
7.5 – 8.4	Rango optimo para algas

Fuente: [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/16agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/16agua.html)

Según el IDEAM su valor define en parte la capacidad de auto depuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica (DQO, DBO), además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados.

### 5.4.1.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Según la resolución 1096 de 200 que adopta el reglamento técnico de Agua potable y Saneamiento Básico- Ras es la Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

La DBO es afectada por la temperatura del medio, por las clases de microorganismos presentes, por la cantidad y tipo de elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de oxidación de la materia orgánica se puede expresar en términos del tiempo de vida media (tiempo

en que descompone la mitad de la cantidad inicial de materia orgánica) del elemento nutritivo.

La DBO de una muestra de agua expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno y se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua manteniendo la temperatura a 20 °C en un periodo de 5 días. Una DBO grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua.

<http://k12science.ati.stevens-tech.edu/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/dbo.shtml>

Los métodos de medición se fundamentan en la hipótesis de que la cantidad de materia orgánica contenida en la muestra, es directamente proporcional a la cantidad de oxígeno que requiere una población bacteriana para digerirla. Así, si hay mucha Materia Orgánica fácilmente biodegradable en la muestra, y suficiente oxígeno, entonces habrá un crecimiento grande en una población de microorganismos aeróbicos que se adiciona a las muestras, y si hay un crecimiento grande en una población de microorganismos aeróbicos, entonces habrá un descenso en la concentración del oxígeno disuelto del sistema. La magnitud de este descenso es lo que se conoce como DBO.

Tabla 10. Valores típicos de Demanda Bioquímica de Oxígeno para aguas de diferente calidad

TIPO DE AGUA	DBO mg/l
Agua potable	0.75 a 1.5
Agua poco contaminada	5 a 50
Agua negra municipal	100 a 400
Residuos industriales	5 00 a 10 000

Fuente [http://www.sagan-gea.org/hojared\\_AGUA/paginas/16agua.html](http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/16agua.html)

#### 5.4.1.2.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas (RAS 2000). La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua.

En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente, (oxidada), a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, mediante un proceso lento que puede tardar, desde unas pocas semanas hasta unos cuantos cientos de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de la oxidación. [http://www.terra.es/personal/forma\\_xxi/cono9.htm#CONTAMINACIÓN FÍSICA](http://www.terra.es/personal/forma_xxi/cono9.htm#CONTAMINACIÓN FÍSICA).

En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones.

Según el IDEAM La DQO es una medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los efluentes de aguas domésticas y plantas industriales, pero no es un indicador del carbono orgánico total presente en el cuerpo de agua, puesto que algunos compuestos orgánicos no son oxidados por el dicromato de potasio, mientras que algunos compuestos inorgánicos sí lo son.

Los estudios realizados por el IDEAM, presentan un valor típico de DQO en aguas superficiales naturales de 21- 41 en la zona de estudio.

#### **5.4.1.2.4 Fenoles**

El fenol, inicialmente denominado ácido carbólico, fue descubierto por Runge en 1834, en el alquitrán de la hulla. Funde a 43°C, hierve a 183°C y tiene un olor característico, no demasiado agradable. Es muy soluble en agua y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Es cáustico y muy venenoso. Causa la muerte por ingestión de tan sólo 1 g y puede causar envenenamiento por absorción por la piel. Si se vierte como residuo industrial al medio ambiente y, en especial, al agua, resulta muy tóxico. Es mortal para la fauna acuática a la concentración de 1 ppm.

En presencia de cloro (empleado para el tratamiento del agua potable) puede transformarse en clorofenol, de sabor muy desagradable. Sin embargo, el fenol puede ser depurado natural y fácilmente de los ríos por el junco de laguna, vegetal acuático muy común.

[http://www.uam.es/departamentos/ciencias/qorg/docencia\\_red/qo/l14/fenol0.html](http://www.uam.es/departamentos/ciencias/qorg/docencia_red/qo/l14/fenol0.html)

Su procedencia es principalmente industrial (industria química, del carbón, celulosa, petroquímica), aunque también hay que mencionar la degradación de algunos plaguicidas. 2.- Compuestos orgánicos derivados del benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) en que uno, dos o tres hidrógenos del núcleo bencénico están sustituidos por radicales -OH. Los fenoles tienen aplicaciones en la industria química y como pesticidas y son tóxicos. Puesto que existe una gran variedad de compuestos fenólicos, sus efectos en organismos vivos varían según la especie. De forma genérica, los fenoles son sustancias muy tóxicas (HR=3) en estado puro. Por lo general, el fenol se utiliza como producto intermedio diversos procesos de producción, siendo producido y consumido por la propia industria (p.e., industria farmacéutica, producción de resinas fenólicas y resinas epoxi, industria petroquímica).

#### **5.4.1.2.5 Los nitratos**

Los nitratos constituyen la especie nitrogenada más abundante y de mayor interés en todos los cuerpos de aguas naturales. En las aguas naturales suele hallarse en concentraciones traza o de unos pocos ppm, pero pueden aumentarse debido al lixiviado de abonos de nitrógeno, de lotes alimentarios o de fosas sépticas, en aguas superficiales sus valores típicos oscilan entre 0.2 y 2 mg/L mientras que en aguas residuales puede alcanzar niveles muy altos. La contaminación de aguas con NO<sub>3</sub>-N puede provocar toxicidad aguda en seres humanos, sobre todo en infantes y esta enfermedad es conocida como metahemoglobinemia ( Sassón et al., 1993; Bryson et al., 1989 ) por este motivo en EE.UU., Colombia y muchos países mas solo se permite un valor máximo de concentración de NO<sub>3</sub>-N.

En aguas de 10mg/L (Decreto 1594/84), en Europa este valor es de 11.3mg/L establecido por la Comunidad Económica Europea ( Smith et al., 1996). El agua con concentraciones superiores al nivel crítico, no se considera apta para consumo humano, un estudio realizado en Indiana EE.UU. en 1996 determinó que el consumo de agua con concentraciones de NO<sub>3</sub>-N entre 19 y 29 mg/L aumentaba la frecuencia de abortos (Nolan B., 1999). El nitrato es soluble en agua y solo es retenido por la fase sólida del suelo en la misma forma en que es retenida el agua, por lo cual puede lixiviarse fácilmente y alcanzar las napas de agua subterránea y permanecer allí por décadas (Nolan, 1999).

El nitrato puede provenir de fuentes localizadas como no localizadas, de las no localizadas la mas importante es la agricultura (Ongley, 1997), causada por la mineralización del nitrógeno orgánico (Humus, estiércol, etc.) y por el agregado de fertilizantes nitrogenados. Las fuentes localizadas pueden ser vertederos, fosas sépticas, aguas servidas, restos de salas de ordeños, gallineros y porquerizas (Bauder et al.,1993; Drury et al., 1996;Lucey y Goolsby.,1993). El NO<sub>3</sub>-N formado por estos restos en los procesos de nitrificación y mineralización se lixivia a través

del suelo hasta alcanzar las aguas subterráneas, este proceso ocurre lentamente por el movimiento descendente del agua y rápidamente cuando se infiltra a través de pozos (Auge, 1997). En los alrededores de las fuentes localizadas las concentraciones de nitratos en aguas subterráneas puede alcanzar valores muy altos, pero la polución por lo general no se extiende a todo el acuífero (Auge, 1997).

Por otra parte, los nitratos, así como los fosfatos, constituyen uno de los nutrientes esenciales para muchos organismos autótrofos fotosintéticos y en este sentido, la presencia de ambas sustancias en el agua, en proporciones adecuadas puede ocasionar la eutrofización de los ríos y lagos.

#### **5.4.1.2.6 Nitritos**

Es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, en la oxidación del amoníaco a nitrato y la reducción del nitrato. Es el agente etiológico de la metahemoglobina, el ácido nitroso formado por el nitrito en solución ácida, puede reaccionar con aminas secundarias ( $RR'NH$ ) para formar nitroso aminas ( $RR'N-NO$ ), muchas de las cuales se conocen como cancerígenas. Los nitritos no se presentan en niveles significativos en las aguas naturales, excepto bajo condiciones reductoras o cuando las aguas con mucho amoníaco se tratan con permanganato. (Letterman, 2002).

#### **5.4.1.2.7 Alcalinidad**

La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio, ( $H^+$ ), hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en solución, y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra.

La alcalinidad suele tomarse como un indicativo de la concentración de estas sustancias, sin que quiera ello decir que para todos los casos, la alcalinidad se deba exclusivamente a los bicarbonatos y los carbonatos. Las aguas subterráneas relativamente antiguas que discurren por estratos arenosos, constituyen una buena excepción, en donde la alcalinidad también se halla relacionada a los silicatos disueltos. La alcalinidad en la mayoría de los cuerpos de aguas naturales tiene su origen en el sistema carbonato, debido a que el bióxido de carbono y los bicarbonatos forman parte del metabolismo de los organismos vivos, aeróbicos o

anaeróbicos, donde quiera que halla agua, materia orgánica y unas condiciones mínimas de supervivencia. La alcalinidad en el agua se expresa como la concentración equivalente de iones hidroxilo, en mg/l o como la cantidad equivalente de  $\text{CaCO}_3$ , en mg/l.

La alcalinidad, entendida como la concentración de metales alcalinotérreos, tiene importancia en la determinación de la calidad del agua para riego y es además, un factor importante en la interpretación y el control de los procesos de purificación de aguas residuales. Ya que la alcalinidad es una función directa “del sistema carbonato” en la muestra, los valores de alcalinidad obtenidos “in situ” suelen diferir de los obtenidos en el laboratorio sobre muestras transportadas, debido a que estas pueden absorber o desprender  $\text{CO}_2$  antes de la medición en el laboratorio.

Esta variación es especialmente importante, en muestras de agua subterránea provenientes de acuíferos confinados o en muestras provenientes de aguas profundas, debido a que los equilibrios de disolución de los gases, están determinados por las presiones imperantes a dichas profundidades. Para efectos de obtener el valor mas real posible de la alcalinidad en el agua del acuífero o a la profundidad del muestreo, es importante medir la alcalinidad “In Situ” o en la boca del pozo; para efectos de obtener un mejor balance iónico en los resultados analíticos conjuntos de estas muestras, puede ser preferible dejar equilibrar la muestra a la presión atmosférica antes de realizar la medición.

#### **5.4.1.2.8 Plomo**

Los efectos sobre la salud del plomo están correlacionados normalmente con las pruebas de nivel en la sangre. Los niños pequeños e infantes absorben el plomo ingerido más fácilmente que lo hacen los mayores y los jóvenes adultos.

La exposición al plomo a través de un amplio campo de niveles de plomo en sangre esta asociado con una continuidad de efectos patofisiológicos, incluyendo interferencias con la hemo-síntesis, necesaria para la formación de células rojas en la sangre, anemia, daños a los riñones, desajuste de la función reproductora, interferencia con el metabolismo de la vitamina D, desajuste del reconocimiento cognitivo, retraso del desarrollo neurológico y físico y elevación de la presión sanguínea. La USEPA ha clasificado el plomo como probable cancerígeno para el hombre, por que ciertos compuestos de plomo causan tumores renales en ratas. (Letterman, 2002).

#### **5.4.1.2.9 Cadmio**

El cadmio penetra en el medio ambiente a partir de una gran variedad de aplicaciones industriales, incluyendo aplicaciones de minería y fusión, electro deposición y producción de baterías, pigmentos y plásticos. El cadmio aparece como impurezas en el zinc y puede también penetrar en el grifo de los consumidores de agua por corrosión del tubo galvanizado. El cadmio está también en los alimentos, con 27 µg/día en la dieta mediana.

El cadmio puede producir disfunción del riñón, hipertensión, anemia y alterar la función hepática y con el tiempo puede depositarse en el riñón. La exposición ocupacional crónica ha dado como resultado una disfunción renal y desajustes neurofisiológicos.

El mecanismo permanece incierto, pero el cadmio compite con el calcio dentro de las células y a través de la membrana celular. Se ha demostrado que el cadmio induce tumores testiculares y de próstata en animales de laboratorio inyectados subcutáneamente, la incidencia en el tumor de pulmón ha aumentado en la gente expuesta al cadmio por inhalación.

El cadmio se considera como inclasificable en lo que a carcinogénico se refiere, con lo que respecta a la exposición oral, porque la carcinogenicidad humana observada tiene lugar vía inhalación (Letterman, 2002).

#### **5.4.1.2.10 Mercurio**

El mercurio aparece en el agua principalmente como sal inorgánica y como compuesto orgánico (metil mercurio) en los sedimentos y en el pescado. Los orígenes de este mercurio incluyen la combustión de combustibles fósiles, la incineración de productos que contienen mercurio, la pasada utilización de pesticidas que contenían mercurio, y el lixiviado de mercurio orgánico de pinturas anti hongos así como orígenes naturales.

El mercurio inorgánico se absorbe poco por el tracto gastrointestinal de los adultos, no penetra fácilmente en las células, y, por otra parte no es tóxico como metil mercurio (el calomelano, cloruro de mercurioso, se utilizó en el pasado como laxante). Sin embargo la absorción mas sensible del mercurio inorgánico en animales adultos de laboratorio es la inducción a una enfermedad auto inmunitaria

del riñón. Las formas orgánicas como el metil-mercurio son fácilmente absorbibles en el tracto gastrointestinal y en el sistema nervioso central, ocasionando la muerte y/o disfunciones mentales y motores (el mercurio metálico es también neurotóxico, pero no han sido hallados niveles significativos en aguas).

El mercurio orgánico también atraviesa fácilmente la barrera placentar del feto. El pescado muy salado, y, en algunas ocasiones, el pescado fresco en una mayoría de casos bioacumulan significativamente mercurio orgánico. El pescado contaminado con metil-mercurio produjo los famosos casos de envenenamiento por mercurio cerca de la bahía de Minamata, en Japón; caracterizados por un gran número de muertes, desordenes del sistema nervioso central y retraso mental, la mayoría de los estudios epidemiológicos sobre hijos de mujeres con un elevado consumo de pescado de agua salada han mostrado casos similares, aunque de menores efectos (Letterman, 2002).

## **5.4.2 Lixiviados**

### **5.4.2.1 Arsénico (As)**

Elemento de color gris y brillo metálico, número atómico 33, densidad de 5,7, se volatiliza sin fundirse a los 400 °C forma ácidos tóxicos. Aunque se encuentra presente en muchos alimentos de la dieta diaria en cantidades trazas, su ingesta excesiva produce enfermedades agudas gastrointestinales, afecciones en la piel y en el sistema nervioso. La USEPA ha clasificado el arsénico como carcinogénico de la piel en humanos (Letterman 2002).

### **5.4.2.2 Bario (Ba)**

Metal blanco amarillento de número atómico 56, funde a 719°C, densidad de 3,8, aparece en cantidades trazas en las aguas subterráneas y superficiales, que se exponen a minerales que contienen bario, los vertidos industriales con este elemento provienen de lodos de perforación en campos petroleros, pinturas de automóviles, la combustión del carbón y la fabricación de ladrillo tejas y cerámica.

Sus efectos en la salud humana están relacionados con la hipertensión.

### **5.4.2.3 Cromo (Cr)**

Metal blanco gris duro e inoxidable, número atómico 24, punto de fusión 1615°C, punto de ebullición 2200°C, las fuentes principales para el agua son la minería, los residuos de operaciones de electro deposición, la combustión de basuras y los combustibles de fósiles. Una ingesta segura y adecuada es de 50 a 20 µg/día, para el agua potable, la USEPA considera al cromo un carcinogénico humano inclasificable.

#### **5.4.2.4 Selenio (Se)**

Elemento químico sólido de número atómico 34, densidad 4,8, funde a 217°C, Aunque es un elemento fundamental en la dieta, la ingesta alta de este elemento puede producir dermatitis, caída del pelo, formación y pérdidas anormal de uñas, diarrea, degeneración del hígado, fatiga y anomalía del sistema nervioso.

#### **5.4.2.5 Plomo**

La exposición al plomo a través de un amplio campo de niveles de plomo en sangre está asociado, con una continuidad de efectos patofisiológicos, incluyendo interferencia con la hemossíntesis necesaria para la formación de células rojas en la sangre, anemia, daños a los riñones, desajuste a la función reproductora, interferencia con el metabolismo de la vitamina D, desajuste del reconocimiento cognitivo, retraso del desarrollo neurológico y físico y elevación de la presión sanguínea.

La USEPA ha clasificado el plomo como probable cancerígeno para el hombre, porque ciertos compuestos de plomo causan tumores renales en ratas (Letterman, 2002).

#### **5.4.2.6 Características Microbiológicas**

El agua por sí sola es un componente fundamental de la vida y como nunca se encuentra en estado puro sino asociada con diferentes elementos, que en ocasiones son nutrientes que permiten el desarrollo de la vida, el agua puede contener organismos vivos microscópicos, que se derivan de su contacto con el aire el suelo y seres vivos o en descomposición. En el área de la salud humana esta característica del agua ha sido muy estudiada y se evidencian la cantidad de enfermedades producidas por estos microorganismos, lo que ha llevado a la legislación sobre el particular de la mayoría de los países a no permitir su presencia en el agua para consumo.

En el agua se pueden encontrar bacterias protozoos, algas y virus, causantes de muchas enfermedades o indicadores de calidad del agua. En la siguiente tabla se aprecia algunas enfermedades de origen hídrico conocidas y los microorganismos que las producen:

Tabla 11. Principales enfermedades de origen hídrico y los organismos que las causan

ENFERMEDAD	ORGANISMO CAUSANTE
	<b>BACTERIAS</b>
Fiebre Tifoidea	<i>Salmonella typhi</i>
Fiebre Paratifoidea	<i>Salmonella paratyphi</i>
Cólera	<i>Vibrio Collera</i>
Disentería bacilar	<i>Shigella spp.</i>
Gastroenteritis	<i>Salmonella spp.</i>
Infecciones del oído	<i>Pseudomona aeruginosa</i>
Enfermedad pulmonar	<i>Microbacterium avium intracelular</i>
<b>VIRUS</b>	
Poliomelitis	Poliovirus
Enf. Aparato respiratorio sup.	<i>Cosaeikerosus</i> , ecovirus
Gastroenteritis	Rotavirus
Hepatitis infecciosa	Virus de la hepatitis A
Hepatitis	Virus de la hepatitis E
Gastroenteritis	Astrovirus y adenovirus enterico
<b>PROTOZOOS Y OTROS ORGANISMOS</b>	
Gardiasis	<i>Giardia liambia</i>
Disentería amibiana	<i>Entamoeba histolytica</i>
Meningoencefalitis	<i>Naegleria Gruberi</i>
Gastroenteritis	<i>Criptosporidium parvum</i> , <i>Ciclospora cayatanensis</i> , <i>Microspora</i> .
Infecciones oculares	Acantameba
Menigo encefalitis primaria amebiana	<i>Fowleri</i>
Gastronteritis daños al hígado y al sistema nervioso	Algas azul-verdosas
Alergias respiratorias	Hongos

Fuente Sobsey y Olson(1983).

En las aguas subterráneas del presente estudio se analizaron los siguientes parámetros considerados como indicadores de la calidad microbiológica del agua: Coliformes totales, Coliformes fecales y aerobios mesófilos.

#### 5.4.2.6.1 Coliformes totales

Este grupo esta constituido por bacilo bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, fermentadoras de lactosa con formación de gas en 48 horas a 35°C. En su mayoría incluyen especies de los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Websiela*, *Serranía* y *E. Coli*.

Teóricamente se afirma que el numero de coliformes en los excrementos humanos en una deposición diaria normal esta entre  $125 \times 10^9$  y  $400 \times 10^9$  la presencia de coliformes en el agua es signo de contaminación, aunque este grupo no se encuentra solamente en el tracto intestinal humano y animal, sino que se pueden producir en los procesos de degradación del suelo (Romero, 1996).

Si bien los coliformes no son patógenos de por si, son indicadores de presencia de microorganismos potencialmente patógenos, convirtiéndose en índice de deficiencia sanitaria de un agua (Hunter et al., 2000).

El consumo de aguas contaminadas con coliformes aumentan el riesgo de contraer enfermedades en humanos (Usepa, 1986), Los coliformes son utilizados como indicadores de calidad microbiana del agua sobre todo de contaminación fecal reciente.

#### **5.4.2.6.2 Coliformes fecales**

Los coliformes fecales son un grupo de los coliformes totales, que unidos al grupo de la *Escherichia Coli*, son indicadores de contaminación fecal reciente, pero no distinguen la contaminación fecal humana de la animal.

#### **5.4.2.6.3 Mesófilos aerobios**

Grupo de bacterias que viven en el rango de temperatura comprendido entre los 24 y 40 °C.

#### **5.4.3 Lixiviado**

Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas acentuado por la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Es este líquido el que finalmente produce la contaminación de los suelos y las aguas superficiales y subterráneas aledañas a los sitios de disposición final de residuos sólidos, su naturaleza depende del tipo de residuos que se depositen, sin embargo los investigadores de esta área tienen identificados una serie de constituyentes típicos de los lixiviados, dependiendo del tipo de residuo que lo genere, para los residuos sólidos urbanos se tienen los contaminantes encontrados en la tabla 10 con el rango de valores en que oscilan.

Tabla 12. Rango de valores de constituyentes de lixiviados en rellenos sanitarios en los EE.UU

CONSTITUYENTES O CARACTERISTICAS	RANGO DE VALORES
Demanda química de oxígeno (DQO)	40 - 89,250
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	81 - 33,360
pH	3.7 - 8.5
Conductancia específica	2,810 - 16,800
Alcalinidad (Ca O <sub>3</sub> )	0 - 20,850
Dureza (Ca CO <sub>3</sub> )	0 - 22,800
Fósforo – total (P)	0 - 130
Nitrógeno amoniacal (NH <sub>4</sub> – N)	0 - 1,106
Nitratos y nitritos (NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> – N)	0.2 - 10.29
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	1 - 1,558
Calcio (Ca)	50 - 7,200
Cloratos (Cl)	4.7 - 2,467
Sodio (Na)	0 - 7,700
Potasio (K)	28 - 3,770
Magnesio (Mg)	17 - 15,600
Hierro (Fe)	0 - 2,820
Zinc (Zn)	0 - 370
Cobre (Cu)	0 - 9.9
Cadmio (Cd)	< 0.03 - 17
Plomo (Pb)	< 0.10 - 2.0

Fuente: EPA Summary report municipal solid waste generate gas and leachate E.U.A., EPA 1974.

Los procesos de reacción bioquímica que tienen lugar en un vertedero o relleno sanitario pueden ser de carácter aeróbicos o anaeróbico. Después de depositar los residuos se inician procesos aeróbicos, que toman un período que va de unos pocos días a semanas, hasta que se haya consumido el oxígeno contenido. A continuación se presente la degradación anaeróbica, en dos fases.

La primera denominada "fermentación ácida", donde los organismos facultativos o anaeróbicos descomponen las sustancias orgánicas de partida, entre otras, proteínas, grasas e hidratos de carbono en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y ácidos grasos menores.

Aquí participa una gran cantidad de organismos diferentes con condiciones de crecimiento óptimas y diferenciadas, de tal modo que la degradación, excepto en el caso de condiciones extremas, casi no está sometida a factores negativos. En la segunda fase, conocida como "fermentación metanogénica," organismos estrictamente anaeróbicos - las bacterias metanogénicas descomponen los productos de la "fermentación ácida" y los convierten en CH<sub>4</sub>, sustancias húmicas y agua (Haddad, 1981).

Las sustancias húmicas se producen también en los suelos donde pueden producir coloraciones parduscas de lixiviados naturales. Para ello la primera fase debe estar tan avanzada que sólo se deben tener como productos intermedios ácido acético, ácido fórmico y H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> gaseosos.

La tasa de crecimiento de las bacterias es baja y va ligada a condiciones ambientales relativamente limitadas, como los valores de PH entre 6,5 y 7,5; bajas cambios de temperatura y suficiente contenido de humedad (Hadad, 1981).

#### **5.4.4 Cierre y manejo posclausura de vertederos o basureros**

Los vertederos no controlados o basureros son los lugares donde se depositan los residuos sólidos urbanos sin ningún manejo técnico, siendo terrenos más o menos próximos a los núcleos de generación urbanos o rurales. La composición de la basura es reflejo de la actual sociedad de consumo cuyos hábitos están dirigidos a la compra de productos de "usar y tirar" que, lejos de ofrecernos una mejor calidad de vida por la supuesta comodidad de su empleo, nos conducen a una irrefrenable generación de residuos. Estos productos tienen un exceso de embalaje, o son envasados con materiales no reutilizables ni reciclables, como los plásticos, y, una vez finalizada su utilidad, se "tiran a la basura". Sin embargo, la basura no desaparece sino que se traslada, la mayoría, a vertederos.

El impacto ambiental y sobre la salud pública que ocasionan los vertederos es cada vez más grave, pues el volumen de los residuos continúa creciendo sin que se tomen medidas para reducir su generación. En los vertederos, se producen reacciones químicas y biológicas entre los constituyentes de la materia orgánica e inorgánica. Los productos tóxicos resultantes son arrastrados por el agua de la lluvia (lixiviados) contaminando el suelo y las aguas subterráneas, o emitidos a la atmósfera (en forma de gases) contaminando el aire.

Los vertederos ocasionan contaminación ambiental (aire, tierra y agua), efectos perjudiciales sobre la salud pública (por la contaminación ambiental y por la

posible transmisión de enfermedades infecciosas por los roedores que los habitan), degradación del suelo e impacto paisajístico. Además, suponen un derroche de recursos y de energía que podrían aprovecharse y de un espacio, que ya no podrá ser recuperado.

Tabla 13. Enfermedades producidas por vectores propios de vertederos no controlados

VECTOR	MOSCA	CUCARACHA	MOSQUITO	RATA
ENFERMEDAD	Cólera	Fiebre tifoidea	Malaria	Peste bubónica
	Salmonelosis	Gastroenteritis	Fiebre amarilla	Tifus Murino
	Disentería	Lepra	Dengue	Leptospirosis
	Disentería	Intoxicación alimentaria	Encefalitis vírica	Diarreas
	Fiebre tifoidea	Diarreas		Rabia

Fuente: Alegre, 1991

Los vertederos controlados que cumplen una reglamentación técnica en cuanto a construcción, funcionamiento y protección del medio ambiente circundante se denominan rellenos sanitarios y desde su diseño inicial se proyecta el plan de cierre y el manejo posclausura, para cuando culmine su vida útil.

Cuando un vertedero no controlado debe clausurarse por problemas ambientales, sociales, económicos o porque concluyó su vida útil, debe seguir unas recomendaciones técnicas para evitar convertirse en un problema de salubridad y seguridad pública. El reglamento técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, aprobado en la resolución 1096 de 2000 considera los siguientes componentes para el cierre de rellenos sanitarios o vertederos, los cuales coinciden con los puntos de vista de diferentes autores y legislaciones ambientales, se tiene que para realizar una correcta clausura de un vertedero a cielo abierto o un relleno sanitario se deben tener en cuenta los aspectos contemplados en la tabla siguiente, después de concertar con las autoridades ambientales locales, la comunidad circundante y el operador del relleno:

Tabla 14. Componentes típicos para la clausura de un vertedero

COMPONENTE	ACTIVIDAD TÍPICA
Utilización posclausura del terreno	Designación y adopción
Diseño de cubierta final	Seleccionar barrera infiltración, pendientes superficiales finales y vegetación.
Sistemas de control de agua superficial y drenajes	Calcular cantidades de aguas pluviales para la escorrentía y selección de tamaños y localización de canales perimétricos para recoger aguas de escorrentía y prevenir la entrada de aguas superficiales.
Control de gases de vertedero	Seleccionar la localización y frecuencia de supervisión del gas y fijar horario operacional, para pozos de extracción de gas y antorchas en caso de necesidad.
Control y tratamiento de lixiviados	Fijar el horario operacional para la separación y tratamiento de lixiviados en caso de ser necesario.
Sistemas de supervisión ambiental	Selección de localizaciones de muestreo, frecuencia y parámetros a medir.

Fuente: (Tchobanoglous, 1998)

#### 5.4.4.1 Utilización posclausura del terreno

Este enunciado hace referencia al uso que se dará al vertedero una vez realizadas las actividades de cierre, por lo general estos sitios son utilizados para parques naturales o para desarrollar actividades que no necesitan de una infraestructura que deba cimentarse sobre el terreno, debido a la inestabilidad que presenta por ser un suelo que a perdido sus características naturales de cimentación. En la tabla 13 se presenta una aproximación de lo que ocurre con la densidad de las basuras, para mostrar lo inestable de los rellenos o vertederos.

#### 5.4.4.2 Diseño de cubierta final

Se denomina cubierta final a la capa de materiales que se depositan sobre los residuos para aislarlos del medio ambiente, minimizar la infiltración y la escorrentía, evitar la salida de gases y olores desagradables y permitir la revegetalización. De acuerdo al estado de avance sobre el tema, a la capacidad económica de la región y a la vulnerabilidad del suelo y los acuíferos donde se encuentre el relleno o vertedero se utilizan se utilizan las diferentes capas de cubierta, en el caso más complejo se aplicarían las capas empezando de arriba hacia abajo como aparecen en la tabla 15.

Tabla 15. Capas típicas para la cubierta final de vertederos o rellenos

CAPA	FUNCIÓN Y MATERIAL TÍPICO
Capa superficial y protectora	Suelo protector apto para vegetación (0.3 m)
Capa de drenaje	Transportar aguas lluvias fuera del la capa barrera, puede ser grava, arena o geotextil.
Capa de barrera	Evita la infiltración hacia la base y los residuos y la salida de gases, geomembrana.
Capa base	Da contorno a la superficie del vertedero y sirve de base a la capa barrera el material es suelo nativo o arcilla compactada (0.6 m)

Fuente: (Tchobanoglous, 1998)

El geotextil, la geomalla y la geomembrana son materiales sintéticos con características específicas, diseñados para estas obras. En Colombia el Ras-2000, fija unos parámetros para la utilización de las capas de materiales para la cubierta final, de acuerdo al grado de complejidad del vertedero o relleno.

En el caso de Arauca que se encuentra ubicado en el rango de complejidad medio alto, debe utilizar las capas de control de infiltración y de erosión, que equivales a la capa de barrera y la capa superficial protectora de la tabla anterior, también exige una pendiente final mínima de la cubierta después de que hayan ocurrido los asentamientos y la subsidencia del 3%. La capa de control de infiltración puede ser en suelo compactado de un espesor mínimo de 0.45 m y una permeabilidad máxima de  $1 \times 10^{-7}$  cm/s.

Si el relleno presenta impermeabilización compuesta debe utilizarse geomembrana de alta calidad sobre el suelo compactado. La capa control de erosión debe tener un espesor mínimo de 0.15 m, pero su espesor y material debe determinarse por medio de un balance hídrico para evaluar la escorrentía superficial, la tasa de infiltración y la capacidad de campo y el porcentaje de marchitez de acuerdo a la vegetación a sembrar, la pendiente pretendida debe ser menor a 4:1 (H:V).

#### 5.4.4.3 Sistemas de control de agua superficial y drenajes

Hace relación a la infraestructura encargada de recoger y desviar las aguas superficiales de la superficie del vertedero, debe tenerse en cuenta la selección de las rutas de drenaje y canalización, tipos de materiales a utilizar y el uso de pendientes superficiales óptimas que no permitan encharcamiento ni erosión.

#### 5.4.4.3.1 Control de gases de vertedero

En un vertedero activo la presión interna es mayor que la presión atmosférica y el gas de vertedero se expulsará mediante difusión y conducido por presión (Tchobanoglous, 1998). Los gases también pueden ser absorbidos por componentes líquidos o sólidos (Stiegler, 1989). 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.

#### 5.4.4.3.2 Control de lixiviados

La producción de lixiviados es uno de los principales impactos sobre el medio circundante de los rellenos sanitarios y vertederos, para lograr el manejo adecuado de estos, debe realizarse una caracterización de los mismos, dependiendo del tipo de residuos que se estén acumulando, debido a que son estos componentes los que entran a contaminar las aguas superficiales y subterráneas y generan olores desagradables.

Tabla 16. Parámetros que deben muestrearse en los lixiviados

FÍSICOS	ORGÁNICOS	INORGÁNICOS	BIOLÓGICOS
Aspecto	Químicos orgánicos	Sólidos suspendidos, totales y disueltos	DBO
pH	Fenoles	Sólidos volátiles en suspensión y disueltos	Coliformes totales
Potencial de reducción de oxidación	DQO	Cloruros	Recuento sobre placa estándar
Conductividad	Carbono orgánico total	Sulfatos	
Color	Ácidos volátiles	Fosfatos	
Turbiedad	Taninos, ligninas	Alcalinidad y acidez	
Temperatura	N-Orgánico	N-Nitrato	
Olor	Aceites y grasas	N-Nitrito	
	Sustancias activas al azul de metileno	N-Amoniaco	
	Grupos funcionales orgánicos	Sodio	
	Hidrocarburos clorados	Potasio	
		Calcio	
		Magnesio	
		Metales pesados: (Pb,Cu,Ni,Cr,Zn,Cd, Fe,Mn,Hg,Ba,Ag.	

		Arsenio	
		Cianuro	
		Flúor	
		Selenio	
		Dureza	

Fuente: (Tchobanoglous, 1998)

Para calcular la producción de lixiviados debe realizarse un balance de aguas en el vertedero que incluye el agua de precipitación, el agua aportada por los residuos, el agua aportada por el material de cubrición (Si existe), el agua consumida en la formación del gas de vertedero y el agua perdida como vapor de agua, que utilizando formulas existentes arrojan la cantidad de lixiviados producidos para diseñar las dimensiones de las estructuras donde van a ser tratados.

Las opciones para tratar los lixiviados en los vertederos pueden ser (Tchobanoglous, 1998): Reciclaje del lixiviado, Evaporación del lixiviado, tratamiento seguido por evacuación y descarga a los sistemas municipales de recolección de aguas residuales.

El reciclaje del lixiviado consiste en recogerlo y recircularlo nuevamente por lo residuos con el fin de aumentar la producción de gas de vertedero, es útil cuando la recolección del gas es importante, sin embargo siempre queda un remanente final que debe ser tratado.

La evaporación consiste en la utilización de estanques impermeabilizados donde se vierten los lixiviados y se dejan evaporar en la temporada de sequía, durante la época lluviosa se controla la entrada de aguas tapando los estanques. Para el tratamiento seguido por evacuación y descarga se pueden utilizar muy variados tratamientos motivados por la naturaleza de los lixiviados y las condiciones climáticas y económicas, estos procesos pueden ser biológicos y químicos y entre los mas comunes se pueden citar: Fangos activados, lagunas anaerobias estanques aireados de estabilización, biodigestores y filtros percoladores.

Entre los procesos químicos se encuentran la separación por vapor, la absorción, el arrastre por aire, el intercambio iónico, la ultra filtración y la osmosis inversa entre otros. La descarga a los lugares de tratamiento de las aguas residuales municipales se realiza cuando el vertedero se encuentra cerca de esta o existe la posibilidad de bombearlo hasta allí y la planta esta capacitada para la carga extra que representan las descargas de lixiviados.

#### **5.4.4.4 Sistemas de supervisión ambiental**

Una vez clausurado el vertedero deben realizarse operaciones de supervisión de parámetros ambientales y de mantenimiento del vertedero independiente del uso final que se le a destine.

Diferentes autores y legislaciones coinciden en los siguientes aspectos a tener en cuenta en esta etapa: Monitoreo de aguas subterráneas y superficiales del área de influencia directa, Monitoreo de emisiones gaseosas, control de sistemas de drenaje y mantenimiento de la infraestructura y el paisajismo. En Colombia el Reglamento técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 propone las siguientes actividades dentro del plan de mantenimiento y monitoreo posclausura:

- Fechas de iniciación y terminación del periodo de posclausura.
- Descripción del plan de monitoreo.
- Descripción del programa de mantenimiento.
- Personal del relleno en caso de emergencias.
- Descripción del uso final del sitio.

Las actividades de mantenimiento 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. El Monitoreo de aguas subterráneas. Debe constituirse en una rutina básica.

#### **5.4.4.5 Utilización posclausura del terreno**

Cuando se diseña un relleno sanitario la utilización final del sitio esta dentro de los diseños iniciales, pero en el caso de los vertederos no controlados esta decisión no esta tomada, sin embargo debe basarse en el uso del suelo establecido en la zona.

El acomodamiento final de los residuos dentro del vertedero debe estar acorde con el uso final que se dará al terreno, teniendo en cuenta la estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cubierta final y drenajes superficiales. Por lo general los sitios donde han funcionado rellenos sanitarios o vertederos son utilizados para parques y jardines botánicos.

## **6 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo cuantitativo-evaluativo debido a que parte de un problema bien definido con objetivos claramente formulados, por lo tanto la hipótesis puede ser aceptada o refutada de acuerdo a los resultados obtenidos por las variables las cuales son medidas científicamente(Lerma, 2002).

Para determinar el efecto de los lixiviados producidos en el vertedero en la calidad de las aguas de la zona aledaña, se realiza una campaña de muestreo para medir algunas características típicas de aguas expuestas a estos contaminantes, estratificándolas en aguas subterráneas y superficiales. De acuerdo a la comparación de los resultados obtenidos con los límites permisibles se tendrá un acercamiento del grado de intervención. En el presente trabajo se encuentra Incluido el diseño de una propuesta de recuperación paisajística del lugar del vertedero, la cual esta supeditada a los resultados obtenidos en la investigación sobre la calidad de las aguas y las características climáticas y del suelo, para su desarrollo es necesario el diseño del plan de manejo posclausura, y diseñar el cierre del vertedero de acuerdo a las normas establecidas por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento básico – RAS.

### **6.2 POBLACION**

La población del presente proyecto de investigación esta dada por los siguientes cuerpos de agua:

#### **6.2.1 Caño el Ruano**

Ubicado al sur del vertedero a una distancia aproximada de 350 metros, tributario del río Arauca, su cauce se encuentra obstruido por un puente de concreto destruido depositado en su lecho, de acuerdo a las mediciones topográficas altimétricas la escorrentía superficial del vertedero no se dirige hacia este cuerpo de agua. Se encuentra muy deteriorado, con la construcción del dique vía perimetral interrumpió su comunicación con el río abasteciéndose actualmente solo con aguas lluvias y de tributarios muy pequeños.

### **6.2.2 Laguna No. 1**

Ubicada en el límite noroccidente del vertedero de bastante profundidad presenta mucha vegetación en su interior, encerrada en el patio de la vivienda de una finca y sus aguas no son utilizadas.

### **6.2.3 El Caño Jesús**

Cuerpo de agua, que pasa a aproximadamente a 350 metros del área del vertedero, tributario del río Arauca, presenta avanzado estado de degradación, y es utilizado por los moradores del lugar para recreación, pesca, lavado de ropas y transporte en época lluviosa.

### **6.2.4 Estero**

Los esteros son depresiones de poca profundidad en el terreno de zonas de sabana, que durante la época lluviosa, recogen agua y presentan características de lagunas. Ubicado frente al vertedero, separado por la vía Caño Limón-Arauca, dentro de los potreros de cría de ganados de la finca La Terraza de la vereda Mata de Gallina, el cual presenta mucha vegetación en su interior y se comunica directamente con el vertedero a través de una alcantarilla.

### **6.2.5 Laguna No. 2**

Laguna de préstamo ubicada frente al vertedero después de la vía Arauca-Caño Limón, presenta aguas turbias de color amarillo, pero sin vegetación ni señales externas de degradación, es utilizada para bebedero de ganados.

### **6.2.6 Laguna No.3**

Laguna de préstamo ubicada frente al sur oriente del vertedero después de la vía Arauca Caño Limón, en el lote de la zona franca, no se utiliza para bebedero de animales y no presenta signos de degradación.

### **6.2.7 Aguas subterráneas del área del basurero**

Comprende toda la zona de aguas ubicadas en el subsuelo debajo del vertedero y fuera de sus límites.

### **6.3 MUESTRA**

La muestra para el presente estudio se denomina muestra dirigida pues esta dada por las consideraciones del investigador. Teniendo en cuenta la calidad de los cuerpos de agua que integran la población o universo se seleccionaron los que presentan mayor estado de degradación y están más cercanos al vertedero.

#### **6.3.1 Marco muestral**

El Marco muestral esta integrado por los siguientes cuerpos de agua estratificados en superficiales (lénticas y lólicas), y subterráneas. También se realiza muestro de los lixiviados producidos en el vertedero para conocer su conformación. El caño Jesús, cuerpo de agua lotico , que pasa aproximadamente a 350 metros del área del vertedero, según el PBOT es tributario de primer orden de la cuenca secundaria del río Arauca, el cual presenta avanzado estado de degradación, y es utilizado por los moradores del lugar para recreación, pesca, lavado de ropas y transporte en época lluviosa. Este cuerpo de agua lotico se selecciono porque esta intervenido por la escorrentía superficial que viene del vertedero como lo muestra la altimetría en el levantamiento topográfico.

Estero ubicado frente al vertedero, separado por la vía Caño Limón-Arauca, dentro de los potreros de cría de ganados de la finca La Terraza de la vereda Mata de Gallina, el cual presenta mucha vegetación en su interior y se comunica directamente con el vertedero a través de una alcantarilla. Aguas subterráneas del área del basurero: Comprende toda la zona de aguas ubicadas debajo del vertedero y hasta 300 metros fuera de sus límites.

#### **6.3.2 Unidad de observación**

Comprenden los lugares específicos del marco muestral, donde se llevaran a cabo la toma de muestras. Estas unidades fueron seleccionadas basados en el decreto No. 859 de 1998 emanado del Despacho del Alcalde Mayor de Santa Fe de Bogotá, Por medio del cual se expiden normas para la adopción de un sistema de tratamiento de lixiviados en el relleno sanitario Doña Juana, después del deslizamiento de este en septiembre de 1997 (de acuerdo a los conceptos de ingenieros geotecnistas expertos que conformaron el equipo de consultores de Sadat International, Arthur D'Little, la Universidad de los Andes, el profesor William Lambe, el ingeniero Ernesto Sánchez Triana, el profesor George Tchobanoglous y el equipo de Bateman Ingeniería Geotécnica).

Que en su artículo 4, numeral 1 estipula la perforación de por lo menos 3 pozos en el área del relleno para monitorear las aguas subterráneas y limitados por los costos se decidió la construcción de 3 piezómetros en el área del vertedero y sus alrededores y el monitoreo de 3 pozos existentes en fincas aledañas, distribuidos como aparece en la siguiente tabla y en la fotografía aérea siguiente.

Tabla 17. Ubicación de los pozos de monitoreo de aguas subterráneas

POZO	COORDENADAS	PROFUNDIDAD	FECHA CONST	DISTANCIA DEL VERTEDERO
No. 1	N 07° 03' 294" H 070°43' 47,6"	9 metros	Junio 10 de 2003	100 metros al norte
No.2	N 07°. 03'. 21,8" W 070°. 43'. 50"	12 metros	Junio 8 de 2003	Sobre el vertedero
No.3	N 07°. 03'. 16,9" W 070°. 43'. 59"	26 metros	Junio 7 de 2003	50 metros al occidente
No.4	N 07°. 03'. 15,2" WH070°. 43'. 47,6"	27 metros	-----	100 metros al sur oriente
No.5	N 07°. 03'. 29,3" WH070°. 43'. 58,1"	-----	-----	300 metros al nororiente
No.6	-----	-----		50 metros al noroccidente

### 6.3.2.1 El piezómetro No. 1

Se ubicó en las coordenadas geográficas N 07°.03'. 29.1"- W 070°.43'. 58.1" A una altura de 121 metros sobre el nivel del mar según el GPS, por fuera del área del vertedero, la perforación se realizó con taladro y se entubó con tubería a presión de 2", en este sitio para la fecha de apertura del pozo (Junio 10 de 2003) se presentaba encharcamiento y la profundidad del pozo hasta encontrar el primer acuífero fue de 9 metros.

### 6.3.2.2 El piezómetro No. 2

Se ubicó en las coordenadas geográficas: N 07°. 03'. 21,8" ; W 070°. 43'. 50" a una altura de 124 metros sobre el nivel del mar según el GPS, dentro del vertedero, en zona de deposito de residuos, pero fuera de uso.

La perforación se realizó con taladro y se entubó con tubería a presión de 2", este pozo fue abierto el 8 Junio de 2003 cerca de la entrada principal del vertedero en una zona bastante alta con respecto a la altura natural del terreno por efectos del enterramiento de basuras, la profundidad del pozo es de 12 metros donde se encontró el primer acuífero.

### **6.3.2.3 El piezómetro No. 3**

Ubicado en las coordenadas geográficas: N 07°. 03'. 16,9" ; W 070°. 43'. 59" a una altura de 126 metros sobre el nivel del mar según el GPS, la perforación se realizó con taladro y se entubó con tubería a presión de 2", este pozo fue abierto el 10 de Junio de 2003 en un potrero ubicado en la parte posterior del basurero.

En este sitio se tomaron muestras del suelo extraído con el taladro cada 1,5 metros para la realización de una columna estratigráfica, encontrándose el primer acuífero a una profundidad de 26 metros.

### **6.3.2.4 El piezómetro No. 4**

Corresponde a un pozo profundo existente en la zona franca con una profundidad de 27 metros el cual está revestido en tubería metálica y su ubicación esta en las coordenadas geográficas: N 07°. 03'. 15,2" ; WH070°. 43'. 47,6".a una altura de 129 metros sobre el nivel del mar según el GPS, diagonal al vertedero pasando la carretera, la altura de este pozo se debe al relleno del terreno.

### **6.3.2.5 El piezómetro No. 5**

Corresponde a un pozo profundo existente en la finca la terraza de la vereda Mategallina donde funciona el basurero ubicado aproximadamente a 300 metros frente al basurero, pasando la carretera.

No se conoce su profundidad porque pertenece a una vivienda y tiene instalada una bomba fija. La ubicación geográfica esta en las coordenadas N 07°. 03'. 29,3" ; WH070°. 43'. 58,1". A una altura de 126 metros sobre el nivel del mar según el GPS.

### **6.3.2.6 El piezómetro No. 6**

Ubicado en una finca a unos 80 metros del limite posterior del basurero, solo se pudo monitorear una vez, debido a que en 2 eventos de monitoreo no había energía eléctrica en la casa y el dueño no permitió desmontar la electro bomba para la instalación de una bomba manual. Las unidades de observación para aguas superficiales se ubicaron de la siguiente manera:

### 6.3.2.7 Aguas superficiales No. 1

Corresponden un estero (cuerpo de agua léntico) de aproximadamente 200 metros de largo por 10 de ancho, paralelo al vertedero por la vía Arauca-Caño Limón, comunicado con este por una alcantarilla, se escogió por su cercanía, el alto grado de eutrofización y por ser utilizado por los animales del dueño del potrero para consumo de agua.

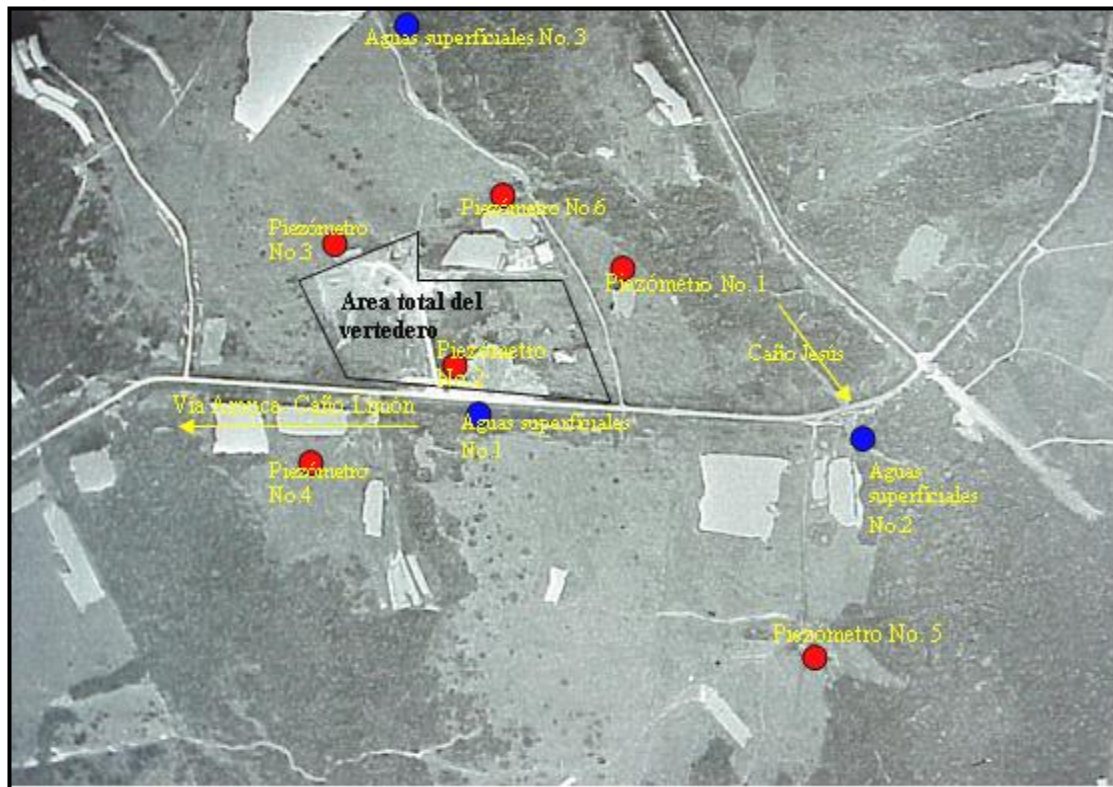
### 6.3.2.8 Aguas superficiales No. 2

Corresponde a las aguas abajo del caño Jesús después de pasar por el vertedero.

### 6.3.2.9 Aguas superficiales No. 3

Corresponde a las aguas arriba del caño Jesús antes de su paso por zona de influencia directa del vertedero.

Figura 12. Ubicación de las unidades de observación dentro del área de estudio



Fuente: Estudio de impacto ambiental zona franca

## **6.4 VARIABLES**

Según la resolución 1096 de 2000 que adopta el Reglamento Técnico para agua potable y saneamiento básico –RAS- en el artículo 190 sobre monitoreo de aguas expuestas a lixiviados de verteros de residuos sólidos urbanos los parámetros que se deben determinar en el Programa de Monitoreo de Acuíferos son:

pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno Disuelto, Metales Pesados, DQO, DBO, Materia Orgánica, Amoníaco, Nitritos y Nitratos. Para el presente trabajo las variables a medir en las unidades de observación son 8 de los 10 parámetros establecidos y algunos parámetros microbiológicos de calidad de agua y su comportamiento con respecto a la pluviosidad. Aunque la norma establece una frecuencia de monitoreo semestral se realizan 3 muestreos en un periodo de 4 meses, abarcando la época de invierno, sin embargo los muestreos se realizaron en el mes mas lluvioso, en uno intermedio y el tercero en el mes mas seco del invierno, como queda consignado en los informes climáticos de los muestreos. En las unidades de observación de aguas se medirán las siguientes variables:

### **6.4.1 Demanda bioquímica de oxígeno DBO**

Niveles típicos en aguas no contaminadas: < 4 (RAS-2000-)  
Unidad: Mg/L.

### **6.4.2 Demanda química de oxígeno DQO**

Niveles típicos en aguas superficiales del área de estudio: 21-41(IDEAM)  
Unidad: Mg/L

### **6.4.3 Fenoles**

Niveles máximos permitidos para calidad del agua segura :0.01(Decreto 475)  
Unidad: Mg/L

### **6.4.4 Nitratos**

Niveles máximos permitidos:  
En aguas para consumo humano:10 .( Romero, 1996)  
En aguas de ríos poco contaminadas 0,1-3 ( Romero, 1996)  
Unidad: mg/l, de nitratos

#### **6.4.5 Nitritos**

Niveles máximos permitidos:

En aguas para consumo humano 1.0 (Decreto 1594)

Niveles típicos en aguas subterráneas y superficiales no polucionadas 0.1 (Romero, 1996).

Unidad: Mg/L

#### **6.4.6 Turbiedad**

Niveles máximos permitidos:

En aguas seguras para consumo humano: <5 (Romero, 1996).

Unidad: Unidades de Turbidez Nefelometriílla NTU.

#### **6.4.7 Temperatura**

Niveles máximos permitidos:

La temperatura esta relacionada con las condiciones climáticas, para esta región el IDEAM maneja unos valores típicos de 20 a 25 grados.

Unidad: Grados centígrados.

#### **6.4.8 ph**

El pH típico en aguas naturales de la región es de 6 (IDEAM)

En aguas para consumo humano: 5 – 9

En aguas para uso agrícola 4,5 – 9.

#### **6.4.9 Conductividad**

Niveles máximos permitidos en agua segura para consumo humano:

< = 1500 (Decreto 475)

Unidad: micro siemens /cms

#### **6.4.10 Recuento de aerobios mesófilos**

Niveles máximos permitidos: 100  
Unidad: UFC/100cm<sup>3</sup>.

#### **6.4.11 Coliformes totales**

Niveles máximos permitidos:

En aguas seguras para consumo humano: 0  
En aguas para agricultura : 5.000

#### **6.4.12 Coliformes fecales**

Niveles máximos permitidos en aguas para consumo humano: 0  
Niveles máximos permitidos en aguas para uso agrícola: 1.000  
Unidad: Unidades formadoras de colonias UFC/100cm<sup>3</sup>

#### **6.4.13 Plomo**

Niveles máximos permitidos:

En agua segura para consumo humano: 0.05 (Decreto 475)  
En aguas para Agricultura: 5.0 (Decreto 1594)  
Unidad: Mg/L

#### **6.4.14 Cadmio Cd**

Niveles máximos permitidos:

En aguas para uso agrícola: 0.01 (Decreto 1594)  
En aguas seguras para uso humano: 0,005 (decreto 475)  
Unidad: Mg/L

#### **6.4.15 Mercurio Hg.**

Niveles máximos permitidos:

En aguas segura para consumo humano : 0,002 (Decreto 1594/84)  
Unidad: Mg/L

#### **6.4.16 Zooplancton**

Es la comunidad animal que vive suspendida en el seno del agua. Los organismos planctónicos se caracterizan por su tamaño pequeño, que varía desde micrómetros hasta unos pocos milímetros. De igual forma su limitado y en ocasiones inexistente poder de locomoción, los incapacita para contrarrestar la fuerza de las corrientes (González 1988).

El zooplancton ha sido indicador de polución en ambientes acuáticos, pero en Colombia se ha caracterizado como una comunidad poco diversificada, especialmente en ambientes continentales, con dominancia de rotíferos, cladóceros y copépodos (Ramírez y Viña 1998).

#### **6.4.17 Alcalinidad**

Niveles máximos permitidos:

En aguas seguras para consumo humano: 100 (Decreto 475)

Unidad: Mg/L

#### **6.4.18 Lixiviados**

##### **6.4.18.1 Arsénico (As)**

Niveles máximos permitidos:

Niveles típicos en lixiviados: 1-10

Niveles máximos permitidos en agua potable: 2 ug/L

##### **6.4.18.2 Bario (Ba)**

Niveles típicos en lixiviados: 1-10

Niveles máximos permitidos:

En aguas para consumo humano: 1.0 mg/L<sup>01</sup> (Decreto 1594/84)

Unidad: Mg/L

##### **6.4.18.3 Cromo (Cr)**

Niveles típicos en lixiviados: 1-10

Niveles máximos permitidos:

Unidad: Mg/L

#### 6.4.18.4 Plata (Ag)

Niveles típicos en lixiviados: 0.1-1.0

Niveles máximos permitidos:

Unidad: Mg/L

#### 6.4.18.5 Selenio (Se).

Niveles máximos permitidos: 0.1 – 1.0

Unidad: Mg/L

Los parámetros estudiados para el presente trabajo se encuentran relacionados en la tabla siguiente con su respectiva unidad de observación y cantidad de muestras tomadas.

Tabla 18. Cantidad y tipo de parámetros muestreados por unidad de observación

PARÁMETRO	UNIDADES DE OBSERVACIÓN								
	P <sup>1</sup> No. 1	P No. 2	P No. 3	P No. 4	P No. 5	P No. 6	AS <sup>2</sup> No. 1	AS No. 2	AS No. 3
DBO	3	3	3	3	3	1			
DQO	3	3	3	3	3	1			
Fenoles	3	3	3	1	1				
Nitratos	3	3	3	3	3	1	3	3	3
Nitritos	3	3	3	1	1		3	3	3
Alcalinidad							2	2	2
Turbiedad	2	2	2	1	1		2	2	2
Temperatura	3	3	3	3	3		3	3	3
pH	3	3	3	3	3		3	3	3
Conductividad	3	3	3	3	3		3	3	3
R. aerobios mesófilos	3	3	3	1	1				
Coliformes totales	3	3	3	1	1				
Coliformes fecales	2	2	2						
Plomo		1							
Cadmio		1							
Mercurio		1							
Zooplancton								2	2

<sup>1</sup>Piezometro

<sup>2</sup>Aguas superficiales

## 6.5 RECOLECCION DE INFORMACIÓN

Planteadas las variables y las unidades de observación se procede a la realización de los muestreos los cuales se realizaron de la siguiente manera:

### 6.5.1 Muestreos

#### 6.5.1.1 Muestreo No.1

**Fecha:** Julio 21 de 2003  
**Precipitación día:** 6,6 mm  
**Precipitación total mensual:** 249 mm

**Personal:** Técnico de muestreo, la estudiante que realiza el trabajo y un auxiliar o colaborador.

- Elementos utilizados:
- Small Bailer Body 1" O.D. PARTNAME. Capacidad 80 c.c. 1Ft. Long.
- Sonda para medir niveles piezométricos.
- Medidor de ph, conductividad y temperatura in situ.
- Nylon.
- GPS.
- Caba.
- Recipientes esterilizados de vidrio y plástico de un litro y 200 cc.
- Hielo.

#### 6.5.1.2 Muestreo No 2

**Fecha:** Septiembre 8 de 2003  
**Precipitación día:** 0 mm  
**Precipitación total mensual:** 131.2 mm

**Personal:** Técnico de muestreo, la estudiante que realiza el trabajo y un auxiliar o colaborador.

- Elementos utilizados:
- Small Bailer Body 1" O.D. PARTNAME. Capacidad 80 c.c. 1Ft. Long.
- Sonda para medir niveles piezométricos.
- Medidor de ph, conductividad y temperatura in situ.
- Nylon.
- Caba.
- Recipientes esterilizados de vidrio y plástico de un litro y 200 cc.
- Hielo.

### 6.5.1.3 Muestreo No 3

**Fecha:** Octubre de 2003

Precipitación día: 0 mm

Precipitación total mensual: 99.2 mm

**Personal:** Técnico de muestreo, la estudiante que realiza el trabajo.

- Elementos utilizados:
- Small Bailer Body 1" O.D. PARTNAME. Capacidad 80 c.c. 1Ft. Long.
- Sonda para medir niveles piezométricos.
- Medidor de ph, conductividad y temperatura in situ.
- Nylon.
- Caba.
- Recipientes esterilizados de vidrio y plástico de un litro y 200 cc.
- Hielo.

Todas las muestras se preservaron en hielo dentro de la caba y se enviaron el mismo día a las 2 p.m. por vía aérea a los Laboratorios Prodycon de Santa fé de Bogotá. La muestra de lixiviados se recogió perforando 30 cms en tres lugares distintos del basurero, tomando igual cantidad de lixiviados de cada perforación hasta completar un litro.

A continuación se relacionan en la tabla 19 las generalidades de las tres campañas de muestreo realizadas en julio, septiembre y octubre de 2003 y en la tabla 20 las campañas de muestreo realizadas en las aguas superficiales.

Tabla 19. Generalidades de muestreos en aguas subterráneas

PIEZ OM	MUESTREO N° 1					MUESTREO N° 2					MUESTREO N° 3				
	HORA	TEM °C	NIV PIEZ (m)	COTA ALTIM *	COMENTARIO	HORA	TEM °C	NIV. PIEZ (m)	COTA ALTIM *	COMENTARIO	HORA	TEM °C	NIV. PIEZ (m)	COTA ALTIM *	COMENTARIO
No. 1	9 a.m	27	6.02	96.80	Terreno con 15 cms de inundación. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	8:00 a.m.	28.5	6.37	96.80	Terreno encharcado. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	9:20 a.m.	32	6.25	96.80	Terreno seco. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
No. 2	9:40 a.m	27.8	4.8	97.80	Sobre el vertedero, terreno seco, 3 mts de nivel de relleno de basuras. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	9. am	30.2	4.97	97.8	Sobre el vertedero, terreno seco, 1 metro de nivel de relleno de basuras. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	9:50 a.m.	30.2	4.33	97.8	Sobre el vertedero, terreno seco, 3 mts de nivel de relleno de basuras. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
No. 3	10:15 a.m	27.2	4.8	96.80	Encharcamiento leve del terreno. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	9.40 am	29	5.56	96.80	Terreno húmedo. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió la temperatura, conductividad y Ph.	8:25 a.m.	30.3	6.02	96.80	Terreno seco. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió la temperatura, conductividad y Ph.
No. 4	11:10 a.m.	29.7	1.84		Terreno seco por efectos de relleno. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	10:20	32	1.83		Terreno seco por efectos de relleno. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	7:55 a.m.	31	2.36		Terreno seco por efectos de relleno. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
No. 5	11:45 a.m	28.7			Bomba manual ubicada en una finca. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	10:50	32.3			Bomba manual ubicada en una finca. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	10:20 a.m.	30.3			Bomba manual ubicada en una finca. Se extrae agua con el bailer por 20 minutos antes de recoger las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
No. 6					No se toma muestra, porque no hay energía y no permiten desmontar la electro bomba.	8:35 a.m.	29			Electrobomba se extrae agua por 5 minutos y se toma las muestras. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.					No se toma muestra, porque no hay energía y no permiten desmontar la electro bomba.

\* En levantamiento topográfico

Tabla 20. Generalidades de muestreos en aguas superficiales

UNIDAD DE OBSERVACION	MUESTREO N° 1				MUESTREO N° 2				MUESTREO N° 3			
	UBICACION	HORA	TEMP. °C	COMENTARIO	UBICACION	HORA	TEMP. °C	COMENTARIO	UBICACION	HORA	TEMP. °C	COMENTARIO
Aguas superficiales N° 1	Estero frente al acceso principal del vertedero	10:55 a.m.	30	El estero presentaba el máximo caudal. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Estero frente al acceso principal del vertedero.	9:40 a.m.	29	Caudal medio. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Estero frente al acceso principal del vertedero.	10:00 a.m.	30	Caudal bajo. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
Aguas superficiales No. 2	Caño Jesús aguas abajo, después del vertedero	12:10 a.m.	30.4	Máximo caudal del caño, durante lo 3 muestreos. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Caño Jesús aguas abajo, después del vertedero	11:20 a.m.	32.6	Caudal bajo del caño. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Caño Jesús aguas abajo, después del vertedero	10:35 a.m.	31.6	Caudal medio del caño, posiblemente por agua proveniente del río, porque el nivel de lluvia era muy bajo.. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.
Aguas superficiales N° 3	Caño Jesús Aguas arriba, antes del vertedero	12:25 a.m.	30.4	Máximo caudal del caño, durante lo 3 muestreos. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Caño Jesús Aguas arriba, antes del vertedero	11:40 a.m.	32.6	Caudal bajo del caño. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.	Caño Jesús Aguas arriba, antes del vertedero	10:55 a.m.	31.6	Caudal medio del caño, posiblemente por agua proveniente del río, porque el nivel de lluvia era muy bajo.. In situ se midió temperatura, conductividad y Ph.

La muestra de lixiviados se recogió perforando 30 cms en tres lugares distintos del basurero, tomando igual cantidad de lixiviados de cada perforación hasta completar un litro. Todas las muestras se preservaron en hielo dentro de la caba y se enviaron el mismo día a las 2 p.m. por vía aérea a los Laboratorios Prodycon de Santa fé de Bogotá. Las muestras para la medición de turbiedad y Alcalinidad del segundo muestreo de todas las unidades de observación se llevaron al laboratorio de EMSERPA en Arauca.

#### 6.5.1.4 Muestreo de zooplancton.

**Fecha:** Octubre 10 de 2003.

**Ubicación:** **Primera estación:** Aguas arriba de Caño Jesús, antes del vertedero.

**Segunda estación:** Aguas Abajo del caño Jesús, después del vertedero.

Se tomaron dos muestras en cada estación con una red de plancton con un diámetro de 60 micras.

La velocidad de la corriente es de 0.33 m/s.

Cada muestra es de 200ml y se fija con transeau.

## 6.5.2 Resultados

En las siguientes tablas se expresan los resultados de los análisis de laboratorio de los parámetros medidos por unidad de observación en todos los muestreos realizados.

Tabla 21. Resultados de análisis de laboratorio de los parámetros muestreados en los diferentes piezómetros

P A R A M E T R O	PIEZOMETRO N° 1			PIEZOMETRO N° 2			PIEZOMETRO N° 3			PIEZOMETRO N° 4			PIEZOMETRO N° 5			PIEZOMETRO N° 6
	SITIO: 100 METROS AL NORTE DEL VERTEDERO			SITIO: SOBRE EL VERTEDERO			SITIO: 50 METROS AL OCCIDENTE DEL VERTEDERO			SITIO: ZONA FRANCA FRENTE BASURERO MPAL			SITIO: FINCA LA TERRAZA VEREDA MATEGALLINA.			FINCA EL NEGRO VEREDA MATEGALLINA
	Coord. Geográficas: N 07°. 03'. 29,1"; W 070°. 43'. 58,1"			Coord. Geográficas: N 07°. 03'. 21,8"; W 070°. 43'. 50"			Coord. Geográficas: N 07°. 03'. 16,9"; W 070°. 43'. 59"			Coord. Geográficas: N 07°. 03'. 15,2"; WH 070°. 47'. 6"			Coord. Geográficas: N 07°. 03'. 29,3"; WH 070°. 43'. 58,1"			
	Cota Altimétrica: 96,80, Profundidad: 9 mts			Cota Altimétrica: 97,80, Profundidad: 12 mts			Cota Altimétrica: 96,80, Profundidad: 26 mts						Profundidad: 18 mts			Profundidad: 36 mts
	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 1	Muest. 2	Muest. 3	Muest. 2
A-DBO 5	12 mg/L 0 2	30 mg/L 0 2	16 mg/L 0 2	15 mg/L 0 2	20 mg/L 0 2	85 mg/L 0 2	10 mg/L 0 2	35 mg/L 0 2	6 mg/L 0 2	4 mg/L 0 2	10 mg/L 0 2	11 mg/L 0 2	4 mg/L 0 2	7 mg/L 0 2	7 mg/L 0 2	3 mg/L 0 2
A-DQO	393 mg/L 0 2	95 mg/L 0 2	151 mg/L 0 2	176 mg/L 0 2	59 mg/L 0 2	224 mg/L 0 2	82 mg/L 0 2	165 mg/L 0 2	14 mg/L 0 2	9 mg/L 0 2	26 mg/L 0 2	24 mg/L 0 2	10 mg/L 0 2	28 mg/L 0 2	18 mg/L 0 2	8 mg/L 0 2
A-Fenoles	< 0,001 mg/L Fenol	< 0,001 mg/L Fenol	0,010 mg/L Fenol	< 0,001 mg/L FENOL	0,001 mg/L FENOL	0,009 mg/L FENOL	< 0,001 mg/L Fenol	< 0,001 mg/L Fenol	< 0,001 mg/L Fenol	< 0,001 mg/L FENOL			< 0,001 mg/L FENOL			
A-Nitratos	0,05 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N	0,28 mg/L NO3-N	0,05 mg/L NO3-N	0,05 mg/L NO3-N	0,41 mg/L NO3-N	0,05 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N	0,04 mg/L NO3-N	0,38 mg/L NO3-N	0,85mg/L NO3-N	0,54 mg/L NO3-N	0,04 mg/L NO3-N	0,06mg/L NO3-N	0,03 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N
A-Nitritos	< 0,005 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	0,010 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	0,016 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N	< 0,005 mg/L NO2-N			< 0,005 mg/L NO2-N			
A-Turbiedad	707,00 NTU	1080 NTU		15,30 NTU	60 NTU		18,60 NTU			42,20 NTU			13,00 NTU			
M. Coliformes Fecales		43 UFC/100 ml	21 UFC/100 ml		7 UFC/100 ml	43 UFC/100 ml		15 UFC/100 ml	< 2 UFC/100 ml							
M. Coliformes Totales	75 UFC/100 ml	12000 UFC/100 ml	15000 UFC/100 ml	460 UFC/100 ml	9000 UFC/100 ml	21000 UFC/100 ml	73 UFC/100 ml	3000 UFC/100 ml	3000 UFC/100 ml	7000 UFC/100 ml			43 UFC/100 ml			
M. Recuento Aer.Mesófilos	312000 UFC/ml	27000 UFC/ml	141000 UFC/ml	78000 UFC/ml	15400 UFC/ml	178000 UFC/ml	111000 UFC/ml	17000 UFC/ml	26400 UFC/ml	240000 UFC/ml			13700 UFC/ml			
Temperatura °C	28,8	30,3	29,5	29,7	30,3	29,5	28,4	30	29,2	30,4	32,6	31	28,7	28,5	29	29,3
pH	6,86	7,7	6,477	6,37	7,7	6,477	6,57	6,7	6,57	6,9	7,8	6,8	6,48	7,25	6,14	6,45
Conductividad	12 mS/cms	8 mS/cms	12 mS/cms	31 mS/cms	22 mS/cms	12 mS/cms	20 mS/cms	30 mS/cms	4 mS/cms	7 mS/cms	8 mS/cms	6 mS/cms	27 mS/cms	27 mS/cms	28 mS/cms	42 mS/cms
A-Cadmio				< 0,005 mg/L Cd												
A- Mercurio				< 0,001 mg/L Hg												
A- Plomo				< 0,02 mg/L Pb												

Tabla 22. Resultados de análisis de zooplancton en caño Jesús

Aguas superficiales: Estación 1 y 2 Departamento: Arauca Municipio: Arauca <b>Sitio:</b> Caño Jesús Temperatura: 27.5 °C				
PRESENCIA Y AUSENCIA DE LA COMUNIDAD ZOOPLANTONICA				
GENERO	Caño Jesús 1 Aguas arriba	Caño Jesús 1 Aguas abajo	Caño Jesús 2 Aguas arriba	Caño Jesús 2 aguas abajo
Moina	*		*	*
Lionotus	*	*	*	*
Rotaria	*		*	
Eucchlanis		*		

Tabla 23. Resultados de análisis de T.C.L.P. de los lixiviados del basurero Municipal de Arauca

Lixiviados Basurero Municipal Departamento: Arauca Municipio: Arauca <b>Sitio:</b> Basurero Municipal Km 3 Vía Caño Limón			Fecha de Muestreo: <b>1ª Muestreo:</b> 21/07/2003 <b>2ª Muestreo:</b> 08/09/2003 <b>3ª Muestreo:</b> 24/10/2003		
PARAMETRO	METODO	TECNICA UTILIZADA	RESULTADOS		
			Muestreo 1º	Muestreo 2º	Muestreo 3º
T.C.L.P Arsenico	EPA-1311-40CFR- 0004	A.A Generación Hidruros	< 0,005 mg/L As	< 0,005 mg/L As	< 0,005 mg/L As
T.C.L.P Bario	EPA-1311-40CFR- 0005	A.A. Oxido Nitroso	0,8 mg/L Ba	< 0,5 mg/L Ba	1 mg/L Ba
T.C.L.P Cadmio	EPA-1311-40CFR- 0006	A.A. Acetileno Aire	< 0,005 mg/L Cd	< 0,005 mg/L Cd	< 0,005 mg/L Cd
T.C.L.P Cromo	EPA-1311-40CFR- 0007	A.A. Acetileno Aire	0,02 mg/L Cr	0,01 mg/L Cr	0,01 mg/L Cr
T.C.L.P Mercurio	EPA-1311-40CFR- 0009	Vapor Frió	< 0,001 mg/L Hg	< 0,001 mg/L Hg	< 0,001 mg/L Hg
T.C.L.P Plata	EPA-1311-40CFR- 0011	A.A. Acetileno Aire	< 0,01 mg/L Ag	< 0,01 mg/L Ag	< 0,01 mg/L Ag
T.C.L.P Plomo	EPA-1311-40CFR- 0008	A.A. Acetileno Aire	0,17 mg/L Pb	0,02 mg/L Pb	0,03 mg/L Pb
T.C.L.P Selenio	EPA-1311-40CFR- 0010	Generación Hidruros	< 0,003 mg/L Se	< 0,003 mg/L Se	< 0,003 mg/L Se

### 6.5.3 Plan de análisis

Tabla 24. Resultados de análisis de laboratorio de las aguas superficiales

PARÁMETRO	MÉTODO	TECNICA UTILIZADA	AGUAS SUPERFICIALES 1			AGUAS SUPERFICIALES 2			AGUAS SUPERFICIALES 3		
			SITIO: Estero de préstamo frente al basurero			SITIO: Caño Jesús aguas abajo basurero			SITIO: Caño Jesús aguas arriba basurero		
			21/07/003	08/09/003	24/10/003	21/07/003	08/09/003	24/10/003	21/07/003	08/09/003	24/10/003
MUEST. 1	MUEST. 2	MUEST.3	MUEST. 1	MUEST. 2	MUEST.3	MUEST. 1	MUEST. 2	MUEST.3			
Alcalinidad total	S.M 2320-B	Titulométrica	179 mg/CaCO3	98 mg/CaCO3		17 mg/CaCO3	23 mg/CaCO3		15 mg/CaCO3	26 mg/CaCO3	
A - Nitratos	S.M 4500 NO3-E	Cadmio en Reducción en Columna	0,04 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N	0,03 mg/L NO3-N	0,04 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N	0,03 mg/L NO3-N	0,04 mg/L NO3-N	0,06 mg/L NO3-N	0,03 mg/L NO3-N
A- Nitritos	S.M 4500 NO2-B	Sulfanilamida Diazotización	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N	<0,005mg/L NO2-N
A - Turbiedad	S.M 2130-B	Turbidimétrica	33,60 NTU	10 NTU		215 NTU	120 NTU		208 NTU	80 NTU	
Temperatura			28,3°C	27,6°C	31,5°C	27,5°C	28°C	29,3°C	27,7°C	28,3°C	32,8°C
PH			6,89	6,7	6,8	6,74	6,7	6,26	6,46	6,85	6,12
Conductividad			0ms/cms	31ms/cms	-8ms/cms	22ms/cms	30ms/cms	24ms/cms	31ms/cms	34ms/cms	29ms/cms

#### 6.5.3.1 Determinación de la calidad de las aguas

Para analizar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se hace necesario hacer una lectura del comportamiento climático del Municipio de Arauca en la época de los muestreos y la elaboración de la columna estratigráfica del terreno del vertedero para conocer el grado de permeabilidad del sector minar el grado de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales.

El comportamiento de la precipitación es importante teniendo en cuenta que la zona del vertedero es bastante baja y en época de máxima precipitación (Julio) las zonas aledañas al basurero, que no han sufrido modificaciones antrópicas (relleno, intersección de la carretera, deposito de basuras), presenta inundación por encima de los 30 centímetros en inviernos normales.

A continuación en la tabla 25 se presenta el reporte climático de los tres meses en que se realizaron muestreos, los cuales alcanzan el mes de mayor precipitación y octubre que aunque es de baja precipitación, no es la mínima como en enero, que por motivos económicos no fue posible incluirlo en el muestreo.

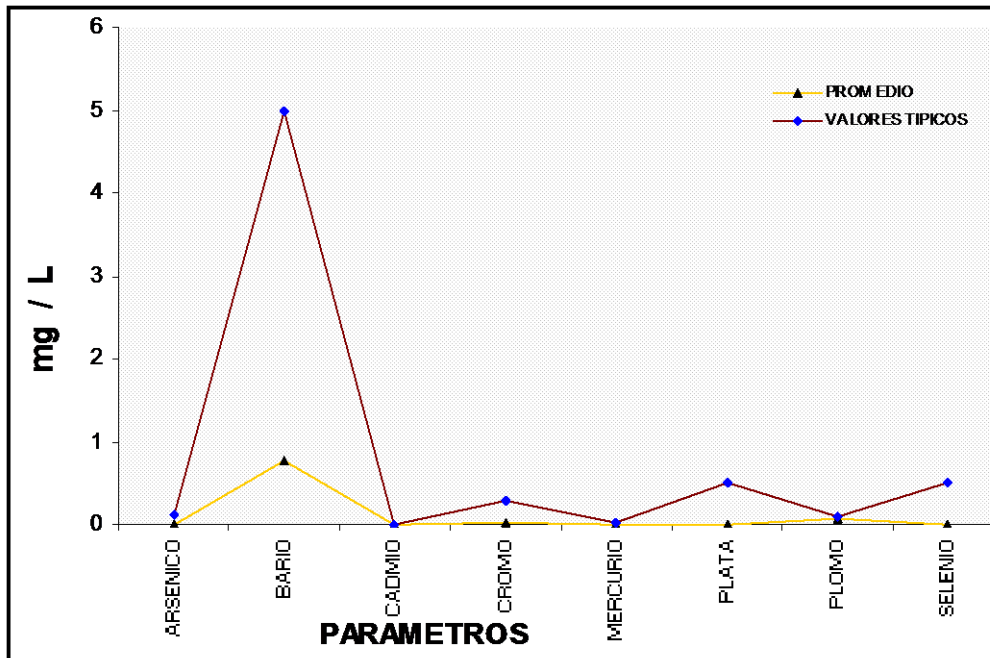
Tabla 25. Comportamiento climático en el municipio de Arauca en los meses de muestreo

MES JULIO 2003					MES SEPTIEMBRE 2003					MES OCTUBRE 2003											
TEMPERATURA MEDIA °C		26,6			TEMPERATURA MEDIA °C		27			TEMPERATURA MEDIA °C		29									
TEMPERATURA MAXIMA °C		34,4			FECHA 10		TEMPERATURA MAXIMA °C		34			FECHA 25		TEMPERATURA MAXIMA °C		36			FECHA 27		
TEMPERATURA MINIMA °C		21			FECHA 1		TEMPERATURA MINIMA °C		22			FECHA 4		TEMPERATURA MINIMA °C		22			FECHA 29		
HUMEDAD RELATIVA %		86			HUMEDAD RELATIVA %		82			HUMEDAD RELATIVA %		74									
TENSION DE VAPOR (HPA)		28,9			TENSION DE VAPOR (HPA)		28,9			TENSION DE VAPOR (HPA)		29									
INSOLACION (Horas)		171,9			INSOLACION (Horas)		168,4			INSOLACION (Horas)		174,3									
PRECIPITACION TOTAL (mm)		249			PRECIPITACION TOTAL (mm)		131,2			PRECIPITACION TOTAL (mm)		99									
DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)	DIA	PRECIP (mm)				
1	0,7	11	40,7	21	6,6	1	-	11	10,4	21	8,7	1	2,8	11	-	21	40,6				
2	6,4	12	-	22	1,1	2	-	12	-	22	-	2	-	12	-	22	-				
3	15,3	13	5,6	23	0,7	3	0,0	13	-	23	0,2	3	-	13	-	23	-				
4	5,3	14	5,6	24	9,6	4	-	14	4,1	24	0,4	4	0,2	14	3,8	24	-				
5	15,4	15	26,1	25	11	5	9,2	15	2,5	25	-	5	-	15	14,4	25	-				
6	-	16	2,9	26	0,5	6	0,3	16	-	26	-	6	-	16	0,2	26	-				
7	-	17	1,5	27	-	7	5,1	17	0,8	27	64,6	7	-	17	16,3	27	-				
8	-	18	1,1	28	-	8	-	18	6,4	28	10,9	8	-	18	-	28	15,5				
9	4,1	19	14	29	3,7	9	1,9	19	1,5	29	1,4	9	-	19	-	29	5,4				
10	7,4	20	-	30	64,3	10	-	20	-	30	2,8	10	-	20	-	30	-				
				31						31	-					31	-				

Tabla 26. Valores encontrados en los lixiviados del Vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca

PARAMETROS	FECHA DE MUESTREOS Y PRECIPITACIÓN			PROMEDIO
	Julio 21/2003 249 mm	Septiembre 8/2003 131,2 mm	Octubre 24/2003 99,2 mm	
T.C.L.P ARSENICO	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005
T.C.L.P BARIO	0,8	< 0,5	1	0,78
T.C.L.P CADMIO	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,005
T.C.L.P CROMO	0,02	0,01	0,01	0,0133
T.C.L.P MERCURIO	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001
T.C.L.P PLATA	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
T.C.L.P PLOMO	0,17	0,02	0,03	0,073
T.C.L.P SELENIO	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,003

Figura 13. Lixiviados encontrados en el Basurero



En los lixiviados del vertedero de residuos sólidos de Arauca se decidió revisar el comportamiento de algunos metales pesados (Pb, Cr, Cd, Hg, Ba, y Ag ) y de los constituyentes inorgánicos selenio y Arsénico, para conocer sus concentraciones y evaluar si estaban por encima de los niveles típicos, generando contaminación por este tipo de elementos en las aguas subterráneas.

Por limitaciones económicas no es posible medir todos estos parámetros en las aguas analizadas, pero su concentración dentro del lixiviado permite argumentar el contenido en las aguas. Como queda demostrado en las gráficas, ningún contaminante alcanzó los niveles promedios típicos de vertedero. La escasa concentración de constituyentes inorgánicos se debe a la naturaleza de los residuos depositados en el vertedero objeto del estudio, correspondientes a una población pequeña con vocación rural y no industrializada, cuyos residuos en su mayoría están constituidos por materia orgánica y materiales inertes.

#### 6.5.3.1.1 Aguas subterráneas

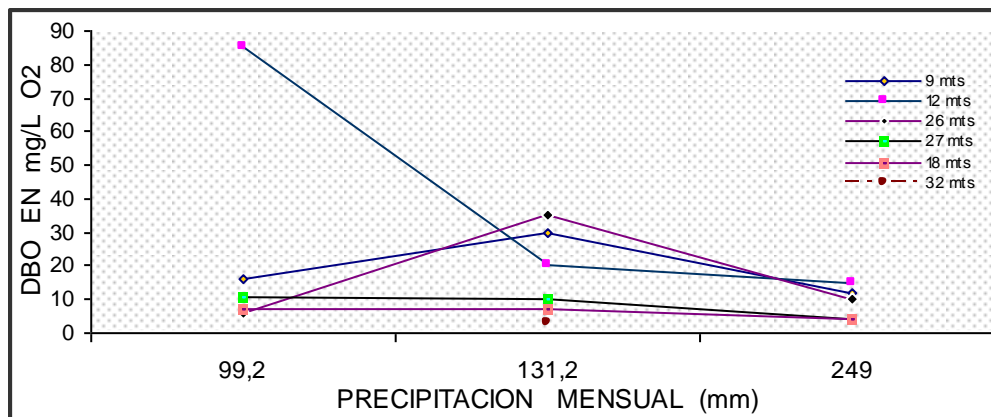
A continuación se presentan los análisis estadísticos y lógicos de los resultados obtenidos en los muestreos de las aguas subterráneas de la zona de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca y los valores máximos permitidos para aguas de consumo humano.

Tabla 27. Análisis estadísticos y lógicos de los resultados obtenidos en los muestreos de aguas subterráneas y los máximos permitidos para consumo humano

PARAMETRO	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Máximo permitido para consumo humano
A-DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	85	3	17,2	<4
A-DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	393	8	92,625	41
A-Fenoles (mg/L Fenol)	0,01	0,001	0,0066	0,002
A-Nitratos (mg/L NO <sub>3</sub> -N)	0,85	0,003	0,188	10
A-Nitritos (mg/ L NO <sub>2</sub> -N)	0,016	0,005	0,013	1
A-Turbiedad (NTU)	1150	13	311	5
M. Coliformes Fecales (UFC/100ml)	43	<2	25,8	0
M. Coliformes Totales (UFC/100ml)	21000	43	6422,8	0
Aerobios Mesófilos (UFC/100ml)	312000	13700	105409	100
Temperatura °C	32,6	28,4	29,5	
PH	7,8	6,14	6,14	5 - 9
Conductividad (mS/cms)	31	1	16,46	0 - 100

### 6.5.3.1.1 Análisis de DBO

Figura 14. DBO en aguas subterráneas



El Reglamento Técnico de agua potable y Saneamiento Básico –RAS. 2000, en el Título C Sistemas de Potabilización, capítulo C.2 sobre aspectos de calidad del agua y su tratabilidad, tabla C.2.1 sobre la calidad de la fuente que se debe usar para potabilizar, dice que la DBO promedio de esta fuente para considerarla aceptable debe estar en un rango  $\leq 1.5$ ; regular entre 1.5 - 2.5; deficiente entre 2.5 – 4 y muy deficiente  $>4$ , mostrando con esto que la calidad de las aguas subterráneas del área de influencia directa del vertedero de residuos sólidos del

Municipio de Arauca son consideradas muy deficientes como fuente de agua para potabilización y su consumo directo no esta permitido.

El promedio de los resultados encontrados es de 17,2, el cual es alterado por un valor mínimo de 3 encontrado en el pozo No. 6 de una finca muy cercana al vertedero donde el pozo esta a una profundidad mayor que los demás muestreados y en el pozo No.5 de 18 metros de profundidad ubicado en la finca la Terraza a 300 metros de distancia con un valor de 4, también en el pozo No. 2 ubicado sobre el vertedero en la época de menor precipitación la concentración de la DBO se incremento significativamente, en este pozo se explica este comportamiento por su contacto directo con los residuos acumulados y la disminución de caudales que actúan como diluyentes.

Los resultados de los análisis de DBO, dejan ver un comportamiento de lo contaminantes, localizado y de profundidad, es decir las máximas concentraciones se encuentran en los lugares más cercanos a la acumulación de residuos y a mayor profundidad menos concentraciones, debido a que los suelos que conforman estos terrenos son muy impermeables de acuerdo a los resultados de los estudios realizados.

Aplicando a esta aguas algunos subíndices individuales del índice de calidad de aguas Americano WQI, diseñado por la Fundación de Sanidad Nacional NSF de Estados Unidos (Canter, 1998) se tiene que para consumo humano la DBO promedio encontrada de 17,2 y el valor máximo de 85 clasifica esta agua como muy mala y el valor extremo inferior de 3 la ubica como de valor medio.

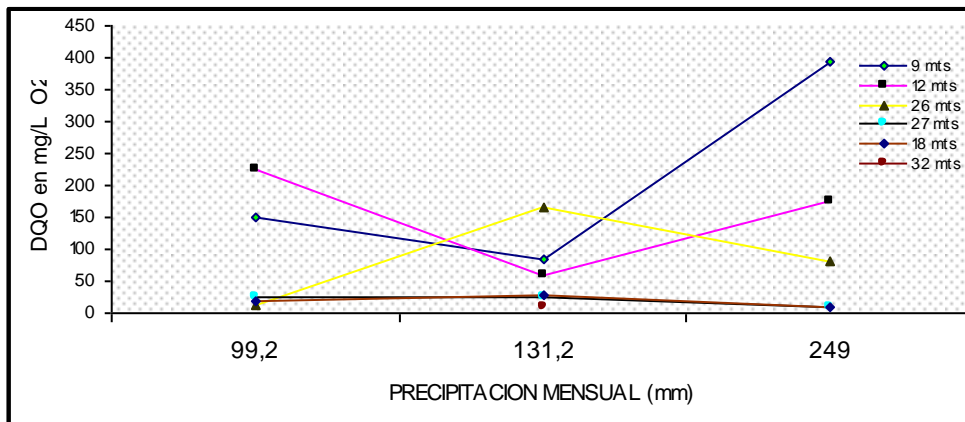
Corroborando lo expuesto anteriormente sobre la calidad de las aguas estudiadas por profundidad y distancia del área de deposito principal de residuos. En términos generales se puede concluir que a pesar de la alta impermeabilidad de los suelos donde funciona el vertedero, los lixiviados si logran transportarse hasta las aguas subterráneas aunque en proporciones muy pequeñas, el transporte horizontal es casi despreciable, pues la contaminación es muy localizada. Durante la época de mayor precipitación los contaminantes tienden a diluirse en las grandes cantidades de aguas generadas.

Como agua natural y apoyándose en la información encontrada en la pagina de Internet citada en el marco conceptual se clasifica como agua poco contaminada, debido a que los valores de DBO oscilan entre 5 y 50 mg/L, aunque es importante considerar el valor de 85 mg/L encontrado en el pozo sobre el vertedero en la época de mínima precipitación del muestreo, que no es la mínima precipitación del municipio la cual según el IDEAM es de 25 mm en el mes de febrero.

Estas aguas pueden ser utilizadas para consumo humano, perforando más de 32 metros, pero no son recomendables y deben utilizarse algún tipo de desinfección para su consumo directo en las fincas aledañas al sector del basurero.

### 6.5.3.1.1.2 Análisis de DQO

Figura 15. DQO en aguas subterráneas



Cantidades elevadas de este parámetro muestran una gran cantidad de materia orgánica en el agua, el IDEAM ha identificado un valor promedio de este parámetro para las aguas naturales de la zona de estudio de 21 a 41 mg/L de O<sub>2</sub>, valor superado en la totalidad de los pozos ubicados alrededor del vertedero, exceptuando el pozo No. 3 que en la época de menor precipitación bajo considerablemente su concentración.

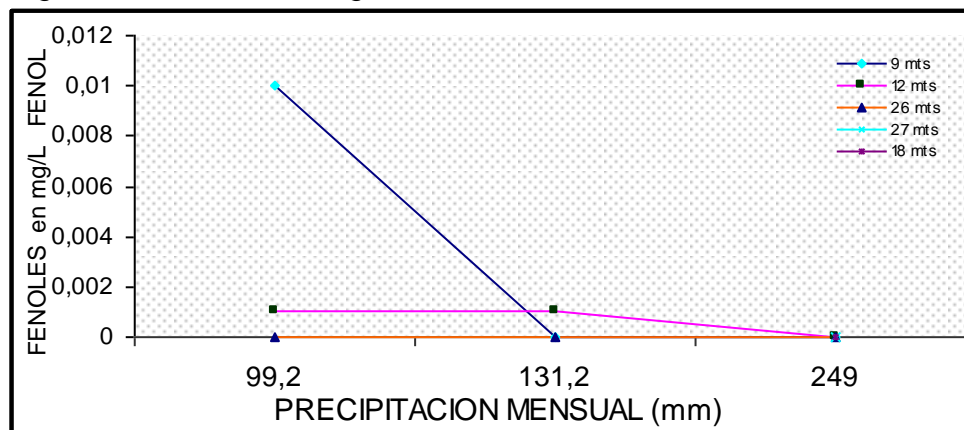
El pozo No. 1 presenta el valor máximo en la época de mayor precipitación, un valor mínimo con precipitación media y la concentración vuelve a incrementarse, aunque no en la magnitud de el primer muestreo en la época donde la precipitación disminuye, este comportamiento demuestra que su concentración no esta sujeta a la humedad del terreno, sino posiblemente a la fase en que se encuentran los lixiviados de su campo de acción. Los pozos No. 4, 5 y 6 presentan valores de DQO dentro de los rangos normales, debido a que se encuentran ubicados a mayor distancia del vertedero, sus concentraciones fueron mínimas en la época de mayor precipitación y aumentaron para el segundo muestreo, bajando muy poco en la época más seca. Los valores de DQO encontrados evidencian una considerable presencia de materia orgánica en las aguas subterráneas muy cercanas al vertedero, que aunque no alcancen niveles exagerados como en las aguas residuales si afectan la calidad de las mismas, las cuales desde el análisis de este parámetro no son aptas para consumo humano.

Las cantidades elevadas de carga orgánica causan el aumento de las poblaciones bacterianas y la disminución del oxígeno NCSU (2001), disminuyendo la calidad natural de las aguas, las cuales van mejorando a medida que se aleja del área de aporte.

Las variaciones en las concentraciones de DQO en los diferentes pozos están sujetas a la fase en que se encuentren los lixiviados que ha alcanzado las aguas en el momento del muestreo.

### 6.5.3.1.1.3 Análisis de fenoles

Figura 16. Fenoles en aguas subterráneas

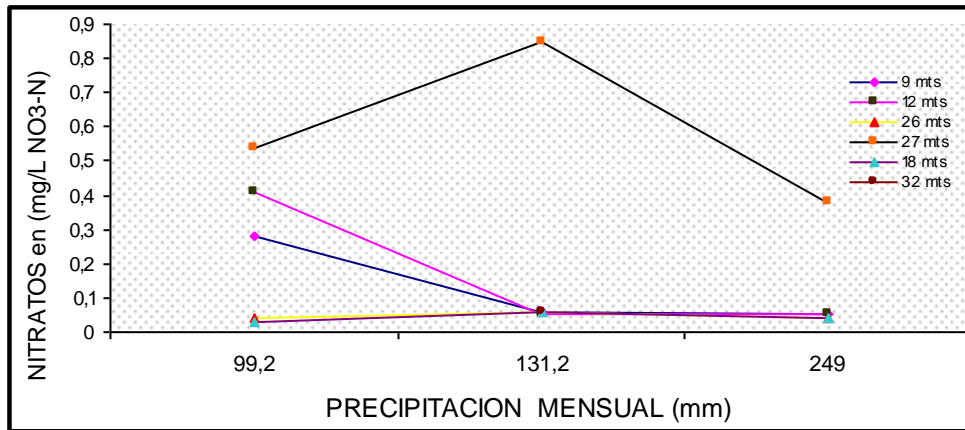


En términos generales la concentración de fenol sobrepasa el límite permitido, solo en la época de menor precipitación indicando que la mayor cantidad de agua en el suelo lava los contaminantes de los lixiviados del vertedero, quedando estos concentrados cuando hay menor movimiento de agua.

El fenol encontrado triplica los estándares permitidos para agua de consumo humano, pero solo en los pozos ubicados alrededor del vertedero, en los pozos de las fincas que son utilizados para consumo humano el valor encontrado está por debajo aunque solo se pudo tomar una muestra de ellos en la época, donde también los otros pozos mostraron valores muy bajos de fenoles. Los residuos sólidos depositados en el vertedero no son de origen industrial o de derivados del petróleo, estos fenoles probablemente provengan de la descomposición de plaguicidas o sustancias húmicas de los potreros circundantes del vertedero.

### 6.5.3.1.1.4 Análisis de nitrato

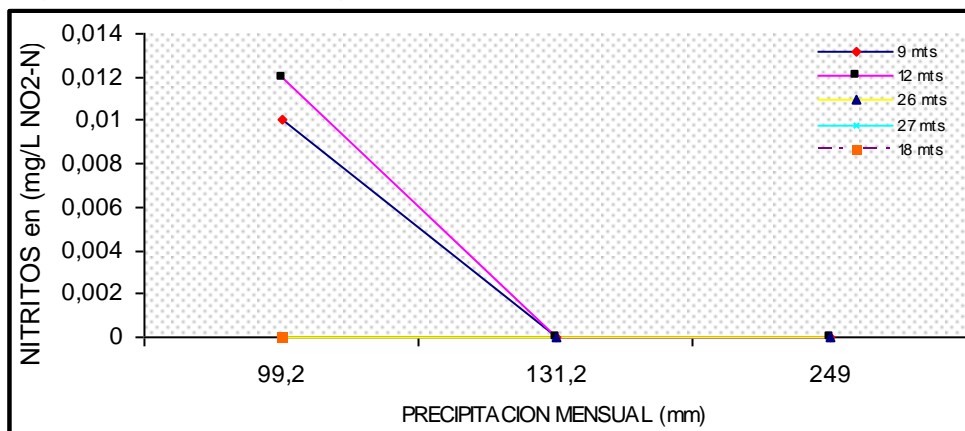
Figura 17. Nitratos en aguas subterráneas



Aunque la concentración de nitratos aumenta en la época de menor precipitación, los valores registrados están muy por debajo de los límites para aguas naturales no polucionadas y para consumo humano, lo cual indica que esta agua no se encuentra contaminada por nitratos.

### 6.5.3.1.1.5 Análisis de nitritos

Figura 18. Nitritos en aguas subterráneas



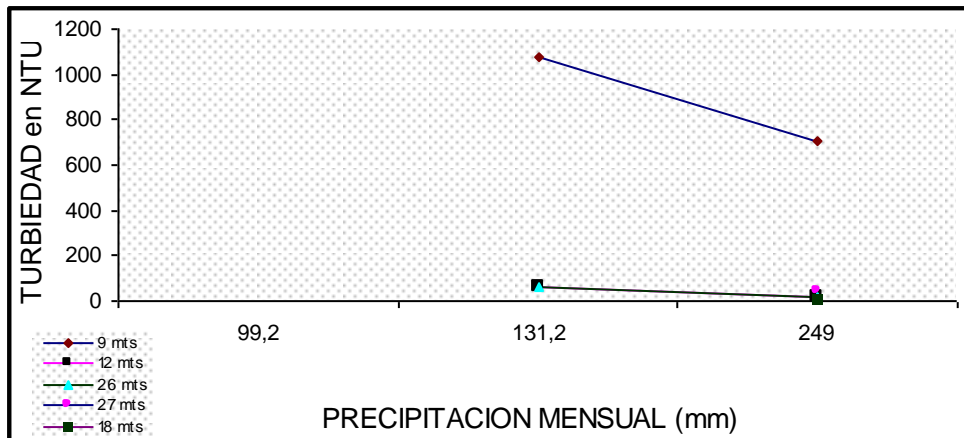
La presencia del nitrógeno en forma de nitritos tampoco es considerable en las aguas subterráneas aledañas al vertedero, sus valores se encuentran por debajo de los límites permitidos en aguas para consumo humano y naturales no polucionadas, también el valor en la mayoría de los resultados es inferior al límite

detectado por el tipo de prueba realizado, lo que indica concentraciones insignificantes.

Los valores de nitritos más significativos se encontraron en los piezómetros ubicado sobre el vertedero y 50 metros al occidente del mismo en la época de muestreo de menor precipitación, estos resultados muestran que la contaminación del agua subterránea por el grupo del nitrógeno ocurre posiblemente por las heces de los animales presentes en los potreros y el mismo vertedero que no se encuentra encerrado.

### 6.5.3.1.6 Análisis de turbiedad

Figura 19. Turbiedad en aguas subterráneas

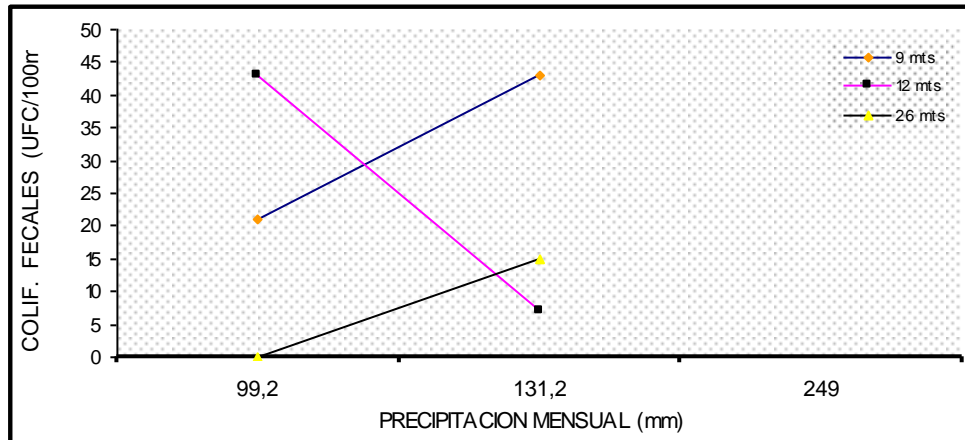


Las muestras de agua son mas turbias en la época de menor precipitación siguiendo el comportamiento de los parámetros anteriormente analizados, estas aguas presentan diferentes colores y olores, siendo el agua del piezómetro No.1 de un color blancuzco y olor a materia orgánica en descomposición pero menos fuerte que la de los piezómetros No.2 y No.3, el agua del piezómetro No. 2 ubicado sobre el vertedero, presenta muchas partículas negras suspendidas y olor nauseabundo.

Las aguas de los piezómetros No.4 y No.5 aunque fueron analizadas solo una vez presentan características organolépticas agradables, aunque la turbiedad esta por encima de las 5 UNT reglamentadas para aguas de consumo humano. Una posible causa de la turbidez de esta agua esta en la es la elevada presencia de microorganismos los cuales fueron detectados en la prueba de aerobios mesófilos.

### 6.5.3.1.1.7 Análisis de coliformes fecales

Figura 20. Coliformes fecales en aguas subterráneas



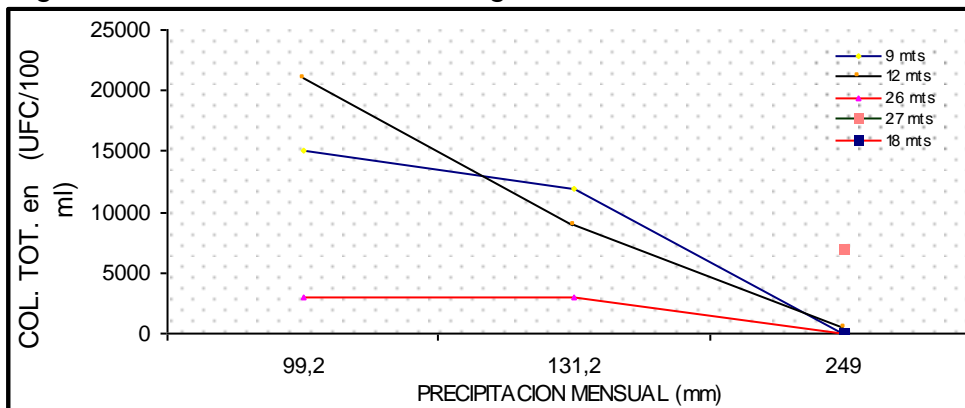
Los coliformes fecales se muestrearon en dos ocasiones en los piezómetros más cercanos al vertedero, encontrándose valores significativos, los cuales provienen de las los bovinos, equinos y porcinos presentes en el basurero de manera regular y en los alrededores de este por ser zonas de potreros.

El comportamiento de los coliformes fecales con respecto a los niveles de precipitación fue errático, pues los valores variaron arbitrariamente den un pozo a otro y de un muestreo a otro, mostrando que la contaminación por coliformes es puntual y que no proviene de los residuos depositados en el vertedero, sino de los animales presentes.

Las concentraciones de Coliformes fecales no son fáciles de predecir puesto que dependen de condiciones específicas para su desarrollo y éstas cambian rápidamente (Michaud, 2001).

### 6.5.3.1.1.8 Análisis de coliformes totales

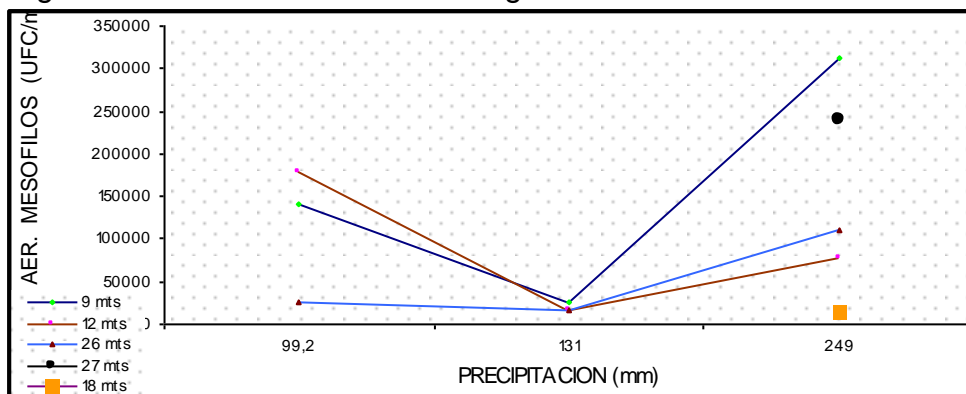
Figura 21. Coliformes totales en aguas subterráneas



Los valores de coliformes totales se incrementaron en la época de menor precipitación y su máxima concentración se presentó en el pozo sobre el vertedero, seguido por el pozo ubicado 100 metros al norte del mismo. Su concentración excede los límites permitidos en aguas para consumo humano y para agricultura, mostrando una gran contaminación de estas aguas en general por este grupo de bacterias. Los coliformes totales en el vertedero alcanzan niveles muy altos los cuales son preocupantes, sobre todo por los efectos de ellos en la salud humana, aunque en los pozos donde se encontraron estos valores no se utilizan para consumo humano en el pozo No. 5 el agua si es utilizada directamente para este fin. Es importante revisar cuidadosamente el origen de los residuos depositados, aunque el vertedero se este clausurando.

### 6.5.3.1.1.9 Análisis de Recuento de aerobio mesófilos

Figura 22. Aerobios mesófilos en aguas subterráneas

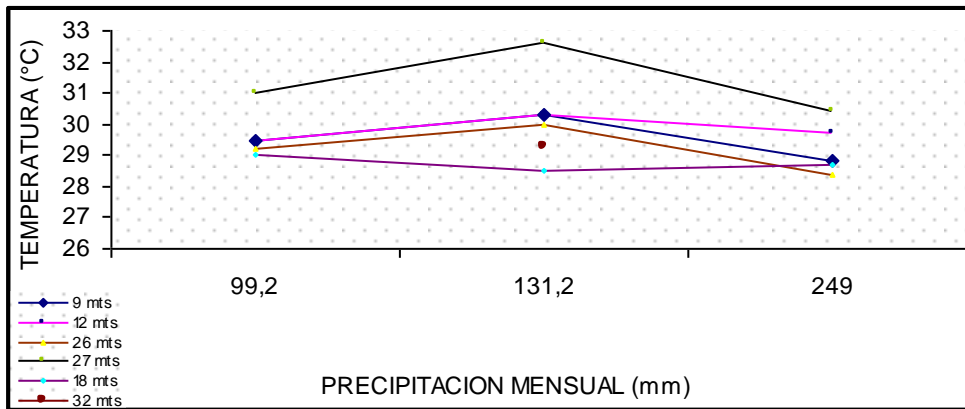


Los valores de aerobios mesófilos superan ampliamente los requerimientos para aguas para consumo humano, mostrando aguas con una gran actividad bacteriana.

Esto es debido posiblemente a que la temperatura de estas aguas está en el rango óptimo para la vida de este tipo de microorganismos, lo que a su vez es causante de los resultados altos de DBO, también es posible que la naturaleza orgánica de la mayoría de los residuos depositados en el vertedero incremente significativamente este parámetro.

### 6.5.3.1.1.10 Análisis de temperatura

Figura 23. Temperatura en aguas subterráneas

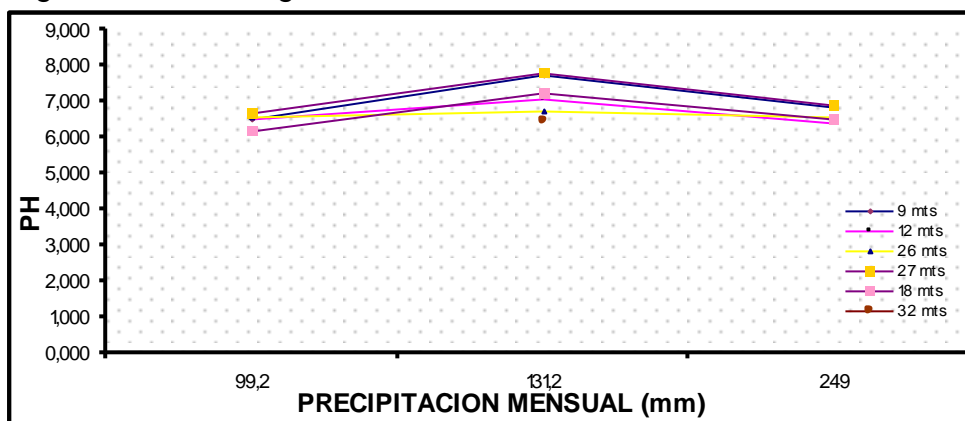


Los valores de temperatura en esta aguas tuvo variaciones de un muestreo a otro debido posiblemente a las condiciones de pluviosidad que tienden a bajar en periodos de máxima precipitación, los cuales naturalmente se acompañan con la reducción del brillo solar que calienta la masa terrestre.

Aunque las muestras se tomaron en periodo de lluvias su temperatura fue elevada, debido posiblemente a la alta actividad bacteriana en el interior de las aguas en general, como se muestra en los análisis que miden la materia orgánica y los microorganismos presentes en las mismas.

### 6.5.3.1.1.11 Análisis de pH

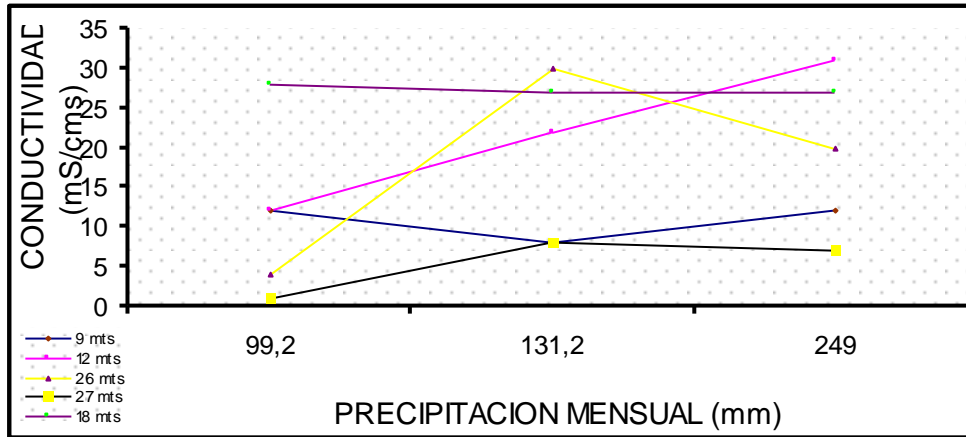
Figura 24. PH en aguas subterráneas



El pH en general se encuentra en el rango aceptado por la legislación ambiental vigente en aguas para consumo humano, se observan cambios significativos entre un muestreo y otro y entre unidades de observación. Las aguas están en un nivel considerado como neutro, con algunos incrementos de acidez en la mayoría de los pozos en el muestreo realizado en la época de precipitación media.

### 6.5.3.1.12 Análisis de conductividad

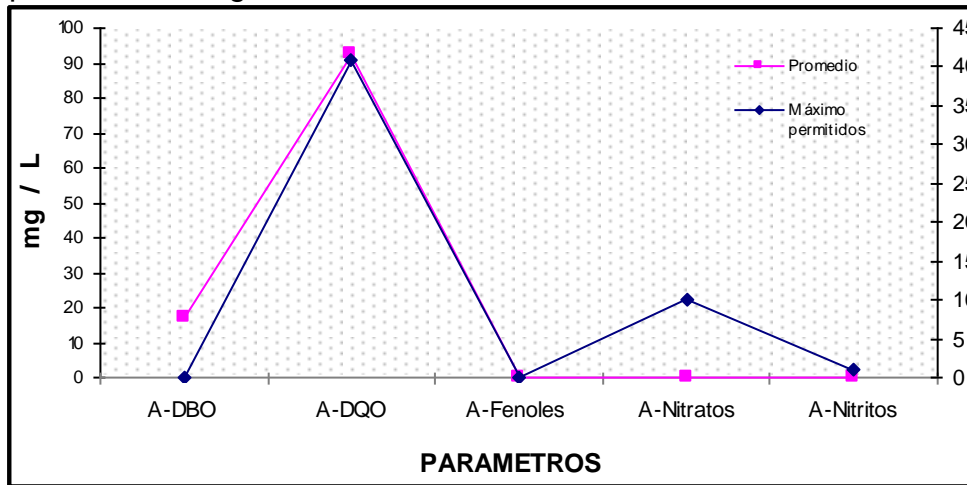
Figura 25. Conductividad en aguas subterráneas



La conductividad eléctrica en las aguas objeto de este estudio está en el rango de 0 – 100 establecido como típico para las aguas de esta zona por el IDEAM, el agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja, el agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos, por esto se usan los como índice aproximado de concentración de solutos.

Los valores más altos de conductividad se encuentran en el pozo No. 5 que en los análisis de otros parámetros presenta poca intervención, mostrando la presencia de otro tipo de iones en esta agua, los pozos No.2 y No.3, que también presentan mayor grado de contaminación por encontrarse más cerca de la zona de aporte pueden estar influenciados por la fase en que se encuentren los lixiviados en contacto con el agua en el momento del muestreo.

Figura 26. Promedios encontrados en aguas subterráneas contra valores máximos permitidos en aguas no contaminadas



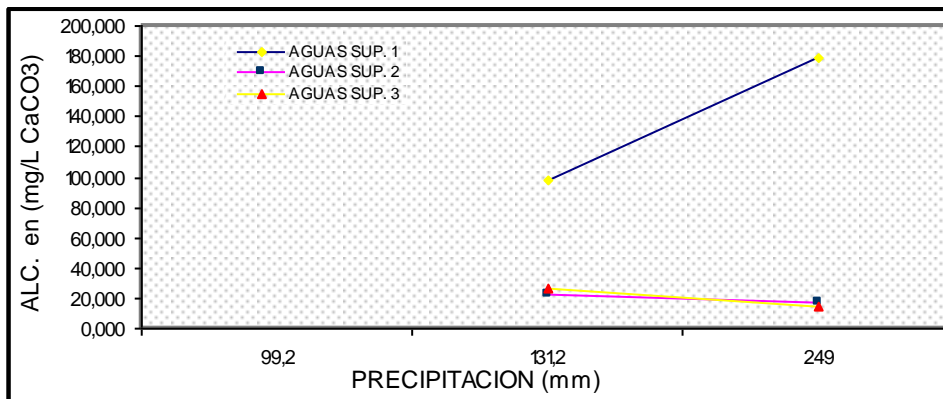
### 6.5.3.1.2 Aguas superficiales

Tabla 28. Análisis estadísticos y lógicos de los resultados obtenidos en los muestreos de aguas superficiales y los valores máximos permitidos para consumo humano y en aguas no polucionadas

Parámetro	Valor máximo	Valor mínimo	Promedio	Máximo permitido en aguas para consumo humano (Dec. 1594/84)	Máximo permitido en aguas no polucionadas (Romero Rojas)
Alcalinidad	179	15	59,6	100	
Nitratos	0.03	0,06	0,038	10	3
Nitritos	0,005	0,005	0,005	1	0,1
Turbiedad	215	10	111,1	<5	
Temperatura	32,8	27,5	29	25 (IDEAM)	
PH	6,89	6,12	6,6	9	
Conductividad (ms/cms)	34	0	23,22	<=1500	

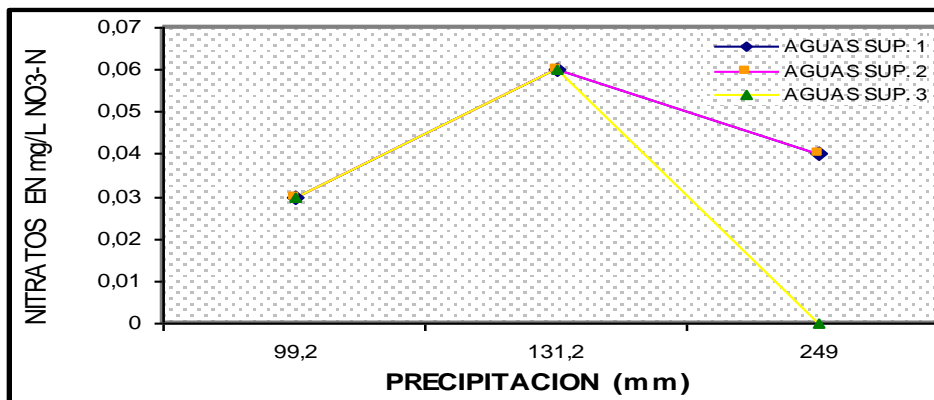
#### 6.5.3.1.2.1 Análisis de alcalinidad

Figura 27. Alcalinidad en aguas superficiales



### 6.5.3.1.2.2 Análisis de nitratos

Figura 28. Nitratos en aguas superficiales



Los valores de nitratos en las aguas superficiales no alcanzaron los niveles típicos de aguas naturales ni los permitidos en aguas para consumo humano, esto posiblemente debido a los altos caudales de las fuentes de agua en la etapa de muestreo.

El nitrato en aguas superficiales es importante porque su exceso produce la eutrofización de lagos y ríos reduciendo los niveles de oxígeno disuelto necesarios para la vida de los recursos hidrobiológicos y para equilibrar la constitución natural del agua.

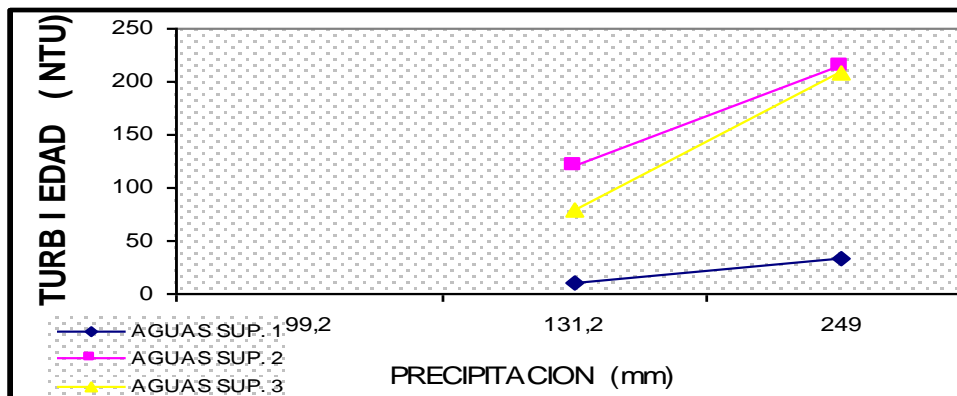
Los nitratos aguas arriba de la zona de influencia del vertedero y aguas abajo del mismo no presentaron variación alguna, demostrando que posiblemente los contaminantes presentes en la escorrentía del basurero no alcancen el cuerpo de agua y se queden en el suelo de los alrededores, aunque esta determinación no es definitiva porque en las aguas subterráneas más cercanas al basurero tampoco se encontraron niveles importantes de nitratos, demostrando así, la ausencia de concentraciones significativas de este parámetro en el vertedero.

#### 6.5.3.1.2.3 Análisis de nitritos

Los nitritos se encuentran en cantidad insignificantes en las aguas superficiales del área de influencia directa del vertedero, permitiendo afirmar que por las concentraciones de este parámetro no existe contaminación en las aguas analizadas.

#### 6.5.3.1.2.4 Análisis de turbiedad

Figura 29. Turbiedad en aguas superficiales

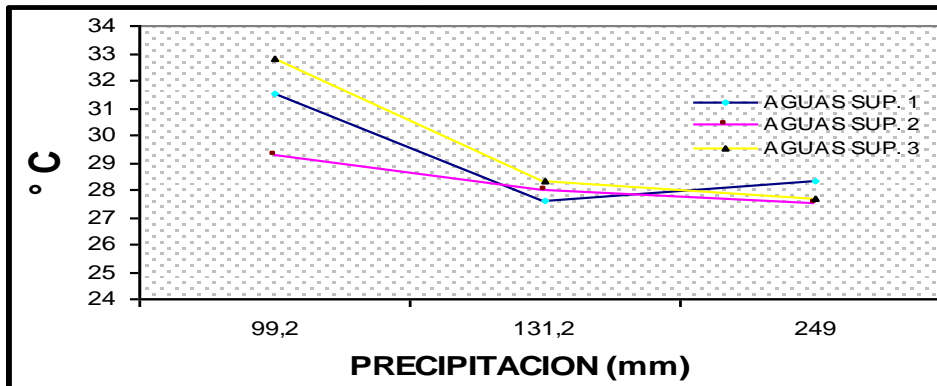


La turbiedad en las aguas analizadas presenta niveles normales de acuerdo al incremento de caudales en la cuenca baja de aguas naturales lenticas, aunque no es permitida para consumo humano por la gran cantidad de sólidos disueltos.

En las aguas superficiales lenticas (No.1) el valor de turbiedad es relativamente bajo por su condición estática que permite la sedimentación de los sólidos disueltos ganados en la escorrentía por las alcantarillas, terreno natural y canales de donde proviene.

#### 6.5.3.1.2.5 Análisis de temperatura

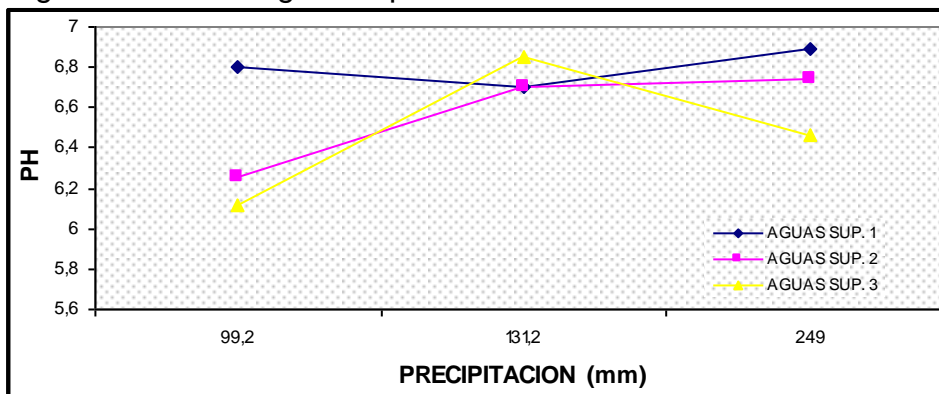
Figura 30. Temperatura en aguas superficiales



La variación de temperatura en las aguas superficiales No1. Se debe a la disminución paulatina de su caudal por efectos de la infiltración y la evaporación, en la época de mayor precipitación su caudal es mayor y puede amortiguar mejor los rayos solares, pero a medida que disminuye la precipitación va perdiendo caudal y el sol calienta más rápido sus aguas. En las aguas antes y después del área de influencia del vertedero se observa una variación debida a que las muestras de las aguas superficiales No. 2 correspondientes a las aguas abajo del vertedero se toman debajo de un puente que mantiene un microclima diferente al de las aguas superficiales No.3 tomadas en un lugar donde recibe directamente los rayos solares. Comparadas con la temperatura de aguas superficiales típica de la zona según el IDEAM, entre 20 y 25°C, estas aguas se encuentran con un incremento de temperatura aproximado de 5°C, atribuidas a la alta turbidez de las aguas del caño, donde las partículas suspendidas absorben la luz solar provocando el incremento de la temperatura y bajando los niveles de oxígeno.

### 6.5.3.1.2.6 Análisis de pH

Figura 31. PH en aguas superficiales



Los valores de ph encontrados en todas las muestras analizadas de las aguas superficiales estudiadas presentan un valor normal, de acuerdo al valor considerado como típico para esta zona por el IDEAM y este parámetro se encuentra en el rango apto para consumo humano.

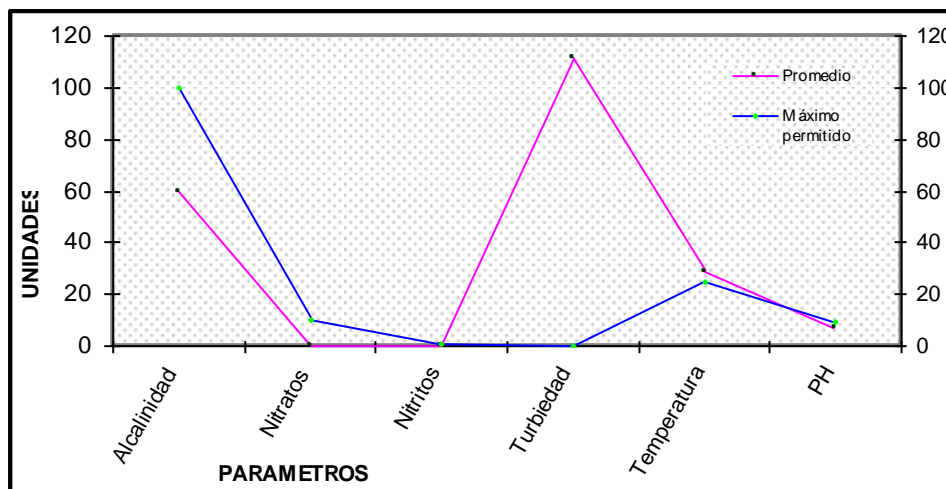
El agua del caño Jesús no presenta variaciones importantes entre las aguas antes y después de la zona de influencia del vertedero, sus niveles de ph son óptimos para la supervivencia de los recursos hidrobiológicos, para uso recreativo y para riego.

### 6.5.3.1.2.7 Análisis de conductividad

La conductividad eléctrica en las aguas superficiales del área de influencia del vertedero al igual que lo ocurrido en las aguas subterráneas presenta valores relativamente bajos, enmarcados en los valores típicos de aguas superficiales de la zona.

En el caño Jesús la conductividad fue mayor en la unidad de observación de aguas arriba, debido posiblemente a la temperatura del agua más alta que en la unidad de aguas abajo lo que tiende a alterar el valor de la conductividad.

Figura 32. Promedios encontrados en aguas superficiales contra valores máximos permitidos en aguas no contaminadas



### 6.5.3.1.2.8 Análisis de zooplancton

Tabla 29. Zooplancton en Caño Jesús

<b>Genero</b>	<b>Caño Jesús 1 Aguas arriba</b>	<b>Caño Jesús 1 Aguas abajo</b>	<b>Caño Jesús 2 Aguas arriba</b>	<b>Caño Jesús 2 aguas abajo</b>
Moina	*		*	*
Lionotus	*	*	*	*
Rotaria	*		*	
Eucchlanis		*		

Los dos análisis de Zooplancton muestran un mayor número de microorganismos en la estación de aguas arriba del área de influencia del vertedero, pero este dato no puede tomarse como definitivo para argumentar la influencia de las aguas de escorrentía del vertedero en la biota del caño, porque son muy pocos los análisis para que sean representativos.

## **7 PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA**

El deterioro ambiental ocurrido en los componentes, hídrico, atmosférico, edafológico y paisajístico del área del basurero Municipal de Arauca, como consecuencia del inadecuado manejo del vertedero de residuos sólidos, amerita el diseño y ejecución de acciones correctivas, para garantizar a la población el derecho a gozar de un ambiente sano como esta establecido en la constitución Nacional. La recuperación del vertedero compromete tres acciones específicas: Plan de cierre, Plan de Manejo posclausura y Plan de recuperación paisajística, tendientes las tres a mitigar y/o compensar los daños ambientales provocados por su inadecuado manejo y evitar su continuidad, para de esta forma obtener un producto que satisfaga las expectativas de la Ingeniería ambiental, de la normatividad vigente y las de quien administra el lugar y de la comunidad afectada directa e indirectamente.

Se inicia con las acciones de clausura basadas en la GUÍA AMBIENTAL PARA EL CIERRE DE BOTADEROS A CIELO ABIERTO – 2002. Emanada para ese entonces del Ministerio de Medio Ambiente hoy Ministerio del Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.

### **7.1 CIERRE DEL VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO DE ARAUCA**

#### **7.1.1 Preliminares**

Para dar inicio al cierre de un botadero de basura a cielo abierto se deben realizar las siguientes acciones previas:

- Comunicar a la comunidad en general que hace uso del lugar y a los afectados por los impactos negativos generados por el sitio sobre las acciones a realizarse y en que tiempo se ejecutarán.
- Instalación de una valla informativa a la entrada del lugar con el nombre del Municipio, nombre y objeto del proyecto, tiempo de ejecución y responsable.

- Cerramiento del lugar para evitar el acceso de animales y el depósito de nuevas basuras.
- Establecimiento de un sistema de vigilancia.
- Construcción de una caseta temporal para vigilantes y almacenamiento de equipos y herramientas.

### 7.1.1.1 Cerramiento

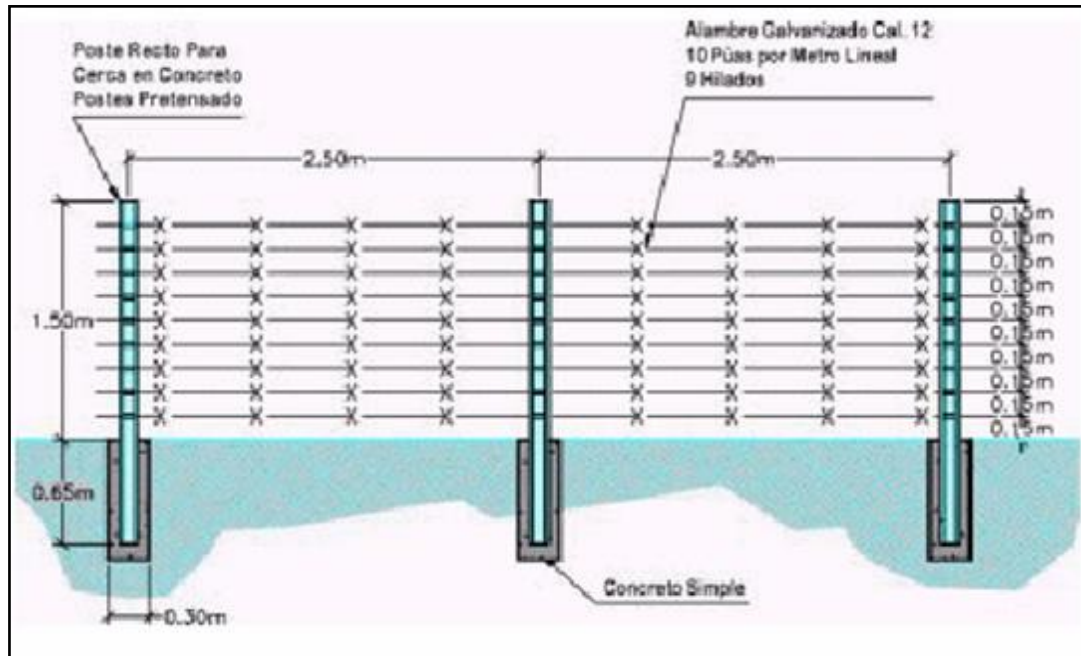
El cerramiento del lugar debe realizarse de acuerdo a las recomendaciones del Ministerio del Medio Ambiente, sin embargo con el fin de disminuir costos se sugiere utilizar solo cinco hiladas de alambre, colocando 3 muy seguidas cada 15 cm desde 15 cm a partir del suelo y las otras dos cuerdas cada 50 cm, también con este fin debe obviarse la base en concreto sobre la que se coloca el poste y enterrarlos sencillamente en el suelo a la profundidad estipulada.

El alambre debe ser galvanizado calibre 12 de 10 púas por metro lineal, con el fin de reforzar el cerramiento se recomienda una cerca viva en limón swinglia, sembrando una planta cada 50 cm. en hoyos de 30cm de diámetro por 30cm, aplicando 300 gramos de bioabono en cada uno, la siembra debe realizarse en la parte interna del vertedero en el mes de abril, cuando las plantas tengan un tamaño mínimo de 50 cm. La cantidad de plántulas necesarias para el cerramiento es de 2360, teniendo en cuenta el perímetro del lugar establecido en el levantamiento topográfico. Los costos de esta actividad se consignan en los de la plantación total sugerida en el plan de recuperación paisajística.

Tabla 30. Costos del cerramiento

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Alambre galvanizado de púas calibre 12	Rollo de 400 mts.	15	70.000	1.050.000
2	Postes en concreto de 2 metros	Unidad	473	15.000	7.095.000
3	Mano de obra	Jornales	70	15.000	1.050.000
<b>TOTAL</b>					<b>9.195.000</b>

Figura 33. Cerramiento de un botadero a cielo abierto



Fuente: Guía Ambiental Cierre de botaderos. MMA

## 7.1.2 Ubicación del sitio

**Ubicación política:** El botadero de residuos sólidos objeto de este estudio se encuentra ubicado en Colombia, Departamento de Arauca, Municipio de Arauca, Corregimiento Santa Bárbara, Vereda Mategallina, en la margen derecha de la vía que conduce de Arauca a Caño Limón –Tame –Bogotá.

### 7.1.2.1 Topografía

Se realizó el levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico del lugar con los resultados contenidos en los anexos, tomando datos de altimetría en los alrededores al norte occidente y sur, encontrando terrenos inundables con una pendiente mínima alrededor del 3%, con dirección al caño Jesús, dentro del área del basurero se diferencian dos zonas, de la mitad hacia el sur con abundante depósitos de basuras predominando alturas entre 1 y 2 metros con respecto al terreno natural, algunos depósitos de tierra con elevación de 2 metros con respecto a la cota original del terreno y algunos fosos de aproximadamente 4 metros de profundidad. La zona norte con vegetación y algunos bajos que durante la época invernal permanecen con lámina de agua se encuentra en un 80% libre de basuras.

El total del área del relleno es de 9.621 hectáreas y presenta dos condiciones diferentes 4,3 hectáreas hacia el sur cubiertas de residuos y 5,26 ha hacia el norte con zonas con pocos residuos.

La zona con mayor depósito de residuos dentro del área total del vertedero está ubicada desde los 252 metros paralelos a la vía en dirección a caño Limón, hacia el sur, cubriendo todo el terreno hasta el extremo occidental, aunque en este espacio se encuentran muchas depresiones y espacios libres de residuos y de los 253 metros hacia Arauca en una longitud de 60 metros paralelos a la vía y 50 metros hacia el occidente se encuentran montones dispersos de residuos. Ver Anexo 1. Plano No. 2.

Los límites y su extensión del vertedero son los siguientes:

- Norte: 247,73 metros con predios de la familia Ramírez Cisneros y Caño Jesús.
- Oriente: 352.41 metros con la vía Arauca-Caño Limón.
- Occidente: 353 metros con predios de Ramón María López.
- Sur: 229 metros con predios de José Santos Ruiz.

#### **7.1.2.2 Proximidad a centros poblados**

El botadero a cielo abierto del Municipio de Arauca se encuentra a 3 kilómetros aproximadamente del área urbana del Municipio en terrenos considerados en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial como zona rural.

#### **7.1.2.3 Proximidad a cursos de agua superficial**

De acuerdo al levantamiento topográfico realizado el vertedero está ubicado entre los caños Jesús y el Ruano a 361 metros del primero y 368 metros del segundo.

Además de estos caños, cercano al vertedero existe lagunas artificiales antiguas que han desarrollado características permanentes y riqueza hidrobiológica, una se encuentra 20 metros al occidente del mismo, otra 120 metros al norte, otra 200 metros al oriente después de la vía, otra al sur oriente 150 metros después de la vía.

#### **7.1.2.4 Acceso al sitio**

El acceso al basurero esta dado por la vía Nacional que de Arauca conduce a los Municipios occidentales del departamento y de allí al interior del país, es una vía pavimentada en muy buen estado.

#### **7.1.2.5 Tamaño del sitio**

El área total del vertedero es de 9.62135 Ha.

#### **7.1.2.6 Áreas de contaminación**

Las áreas contaminadas por los impactos negativos del vertedero comprenden las siguientes

##### **7.1.2.6.1 Aire**

En un radio de aproximadamente un kilómetro a la redonda del vertedero se perciben los olores ofensivos producidos por los gases generados en la descomposición de los residuos y dependiendo de la dirección del viento estos malos olores pueden llegar hasta 3 kilómetros. Las cucarachas, moscas, ratones y zamuros propios del vertedero molestan en las viviendas ubicadas 3 kilómetros a la redonda.

##### **7.1.2.6.2 Agua**

Los lixiviados producidos en el vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca, no han contaminado los cuerpos de aguas superficiales estudiados en el presente trabajo por cuanto los resultados de los análisis de calidad de agua realizados en ellos no presentan niveles significativos de degradación.

La contaminación de los lixiviados es puntual y avanza muy poco de manera vertical debido a la alta impermeabilidad de los suelos, en lo que respecta a la escorrentía superficial en la época de sequía es inexistente y durante la temporada lluviosa por la distancia al caño Jesús, receptor de la misma y la gran cantidad de agua que se maneja, se diluyen los contaminantes que en muy alto porcentaje son de naturaleza orgánica.

### **7.1.3 Información sobre el clima**

En la tabla No.2 al inicio del presente trabajo se encuentra la información del clima de Arauca para un periodo de 25 años contados a partir de 1970, esta información fue tomada del proyecto de Manejo Integral de Residuos Sólidos de la Empresa de Servicios Públicos de Arauca EMSERPA.

En el Anexo 4. se encuentran los datos sobre precipitación en el municipio de Arauca actualizados a 2003, tomados en la estación del Aeropuerto Santiago Pérez Quiroz del IDEAM, ubicada a 3 kilómetros del vertedero.

### **7.1.4 Información geológica, geoquímica e hidrológica**

Al inicio del presente trabajo se presentan las características geológicas de los suelos del área de estudio, caracterizados en la división venero , la profundidad de las aguas subterráneas de acuerdo a los pozos perforados para realizar el estudio sobre la calidad de estas, se encuentra en las tablas 22, 23 y 24, la ubicación de los pozos de control y sus características de construcción se encuentran en las unidades de observación y los datos de los resultados de análisis de laboratorio sobre la calidad de las aguas se encuentran en los anexos del presente trabajo.

Los resultados del análisis físico de suelo para la caracterización dentro del vertedero se encuentran a continuación, estos análisis fueron realizados en el laboratorio TOP. SUELOS ingeniería por la estudiante que realiza el presente trabajo bajo la supervisión directa del jefe de laboratorio de la empresa.

### **7.1.5 Análisis de suelos**

Por el análisis de suelos en el área dentro del vertedero, se toman muestras de suelo en una excavación de 6m X 4m de área y 5 metros de profundidad, realizada con maquinaria pesada por la Empresa de Servicios Públicos de Arauca EMSERPA en la zona de vertedero, donde no hay residuos depositados.

De cada horizonte se extrajo un kilo de material y se llevó al laboratorio de suelos de la empresa "Top - Suelos Ingeniería", donde con la asesoría directa del laboratorista la estudiante realizó el análisis de suelos midiendo límite plástico, límite líquido, humedad natural y lavado.

Los horizontes encontrados presentan la siguiente organización:

- **Primer Horizonte:** Suelo de color gris claro, suelto, con una profundidad de 1 metro.
- **Segundo Horizonte:** Suelo color habano con betas amarillas, presencia de plintita reducido, con una profundidad de 0,80 mts.
- **Tercer Horizonte:** Suelo gris oscuro, muy compactado, con una profundidad de 0,20 mts.
- **Cuarto Horizonte:** Suelo de color habano, con muchas betas rojas, profundidad de 3 mts hasta el nivel freático.

### 7.1.5.1 Metodología para la realización de las pruebas de suelos

#### 7.1.5.1.1 Porcentaje de Humedad

Para medir el porcentaje de humedad, se toma una porción del terreno natural, se pesa y se lleva 24 horas al horno, al salir del horno se pesa nuevamente, posteriormente se resta el peso final al peso inicial y este resultado se multiplica por cien (100).

Porcentaje de humedad del primer horizonte o estrato.

$P_1$  = Peso del material húmedo con el recipiente

$P_2$  = Peso del material seco con el recipiente

$P_3$  = Peso del recipiente

$$\% W = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} \right) \times 100 \text{ en donde } (P_1 = 218,4g), (P_2 = 201,7g) \text{ y } (P_3 = 85g)$$

$$\% W = \left( \frac{218,4g - 201,7g}{201,7g - 85g} \right) \times 100 \Rightarrow \% W = 14,3g$$

Igual procedimiento se lleva a cabo con los siguientes estratos:

Porcentaje de humedad del segundo estrato.

$$\% W = \left( \frac{262,4g - 242g}{242g - 99g} \right) \times 100 \Rightarrow \% W = 14,26g$$

Porcentaje de humedad del tercer estrato:

$$\% W = \left( \frac{217,7g - 200g}{200g - 83g} \right) \times 100 \Rightarrow \% W = 15,2g$$

Porcentaje de humedad del cuarto estrato:

$$\% W = \left( \frac{201,7g - 189,9g}{189,9g - 83,8g} \right) \times 100 \Rightarrow \% W = 16,6g$$

### 7.1.5.1.2 Lavado

El lavado se realiza para conocer el tamaño de los granos constituyentes del suelo, se inicia tomando una porción de suelo pesado en un recipiente; se deja en agua un tiempo prudencial hasta que se disuelva al máximo; luego se procede a tamizarlo por el tamiz No. 200, cuidando de no perder nada de material por fuera de este, cuando no pasa mas material por el tamiz, se lleva a un recipiente este residuo se pesa y se deposita en el horno por 24 horas, pasado este tiempo se extrae, se pesa y se calcula el porcentaje de lavado, el cual indica la cantidad de material fino que pasa el tamiz # 200. A mayor porcentaje de lavado mas fino es el material.

Lavado del primer estrato.

$P_1$ = Material pesado para el proceso

$P_2$ = Material seco extraído del horno después de tamizado

$$\text{Porcentaje de lavado} = \left( \frac{P_1 - P_2}{P_1} \right) \times 100 \text{ en donde } (P_1 = 200g) \text{ y } (P_2 = 89,5g)$$

$$\% L = \left( \frac{200g - 84g}{200g} \right) \times 100 \Rightarrow \% L = 57,7\%$$

% Lavado segundo estrato.

$$\% L = \left( \frac{300g - 40g}{300g} \right) \times 100 \Rightarrow \% L = 86,57\%$$

% Lavado tercer estrato.

$$\% L = \left( \frac{200g - 65,6g}{200g} \right) \times 100 \Rightarrow \% L = 67,2\%$$

% Lavado cuarto estrato.

$$\% L = \left( \frac{200g - 48,9g}{200g} \right) \times 100 \Rightarrow \% L = 75,5\%$$

### 7.1.5.1.3 Límite líquido y límite plástico

Para encontrar el límite líquido y plástico, se toma 1 libra de suelo totalmente seco, se tritura sobre una superficie dura con piedra y martillo, cuando está totalmente pulverizado se pasa por el tamiz 40, se deposita en un recipiente, se va humedeciendo poco a poco hasta formar una masa homogénea, con una espátula se toman porciones de suelo, se depositan en un dispositivo denominado cazuela de caza grande, cuidando de colocarlo homogéneamente, se procede a realizar una ranura por toda la mitad de la porción de suelo con un elemento especial para ello, y se procede a golpear la cazuela hasta que se una el suelo separado, los golpes se van contando en tres grupos; cuando el suelo se una entre 10 y 20 golpes, entre 20 y 30 y entre 30 y 40 golpes, se anota el número de golpes dado, donde el suelo se une, en cada uno de los tres grupos, se toma una muestra de suelo, se deposita en un recipiente, se anota el peso y se lleva al horno por 24 horas; donde se anota nuevamente el peso, esto para calcular el límite líquido.

Para el límite plástico, se toma una muestra del mismo suelo amasado y sobre una superficie seca se forman hebras como varillas de 2 mm, hasta que se comiencen a cuartear, para llegar a este punto es necesario agregar suelo o agua a la mezcla, según sea el caso, se toman 2 cantidades similares de estas varillas, se pesan y se llevan al horno.

En el límite líquido, mientras más húmeda la mezcla de suelo, más rápido se une, por eso debe buscarse el punto exacto, para que la prueba pueda ejecutarse con éxito, en los 3 grupos de golpes. Para calcular los límites plásticos y húmedos, después de anotar los pesos de las muestras antes y después de salir del horno, se calcula el porcentaje de humedad, como en la prueba inicial de porcentaje de humedad y en la tabla de resultados de la hoja de ensayo se ubican los valores de contenido de humedad contra número de golpes, para obtener el límite líquido a los 25 golpes. En el límite plástico como se toma la humedad de dos muestras, se calcula el promedio.

Con los datos obtenidos en la prueba de lavado y en los límites húmedo y plástico se busca su interpretación en tablas la clasificación de los suelos, según el texto propiedades ingenieriles de los suelos (Márquez, 1987), los resultados aparecen en la hoja de ensayo de clasificación y sus anexos.

Los cuatro estratos de suelo estudiados pertenece al grupo CL según la clasificación unificada y A-6 para la clasificación de la ASSHO, enmarcándolos en arcillas con plasticidad de media a alta, con poco contenido de limos y muy impermeables, con una capilaridad de regular a elevada y un comportamiento del suelo compactado de regular a bueno en seco y malo en época lluviosa. Ver Anexo 3. Resultados Análisis de Suelo.

### 7.1.6 Características y cantidad de los residuos depositados:

La caracterización de los residuos sólidos se encuentra en la tabla No. 4, de acuerdo a los datos suministrados por EMSERPA, consignados en el Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Arauca, donde también se calcula una producción promedio por habitante 0,7 kilogramos diarios, que utilizado con la proyección de crecimiento de población, del DANE arrojan la siguiente cantidad de residuos sólidos depositados en el vertedero, desde el inicio de su vida útil en el año 1992.

Tabla 31. Cantidad de residuos sólidos urbanos depositados en el vertedero

<b>AÑO<sup>1</sup></b>	<b>POBLACION<sup>2</sup></b>	<b>P/PER CAPITA DIARIA KG<sup>3</sup></b>	<b>CANTIDAD/AÑO (Toneladas)</b>
1992	35696	0.7	9120.3
1993	38926	0.7	9945.6
1994	42154	0.7	10770.3
1995	45473	0.7	11618.3
1996	47728	0.7	12194.5
1998	52277	0.7	13356.8
1999	54602	0.7	13950.8
2000	56918	0.7	14542.5
2001	59217	0.7	15129.9
2002	61657	0.7	15753.4
2003*	64064		3273.7
<b>TOTAL</b>			<b>129.656</b>

<sup>1</sup> En el año 2003 se deposito en el vertedero solo el 20% de los residuos producidos, los demás fueron a la planta de tratamiento.

<sup>2</sup> Proyecciones DANE censo 1993.

<sup>3</sup> Fuente PMIRS EMSERPA.

El material de cobertura solo se utilizó en los primeros meses de establecimiento del vertedero y se realizaba con tierra extraída del mismo, actividad que generó los fosos que hoy se encuentran distribuidos en el área del basurero. El tiempo de usos del vertedero esta establecido desde 1992 hasta el año 2002 en que recibe el total de los residuos producidos en el Municipio, a partir del año 2003 entra en funcionamiento la planta de manejo integral de residuos sólidos, sin embargo algunas entidades oficiales y privadas siguen depositando residuos, al igual que EMSERPA que deposita los rechazos provenientes de la planta.

### **7.1.7 Actividades de clausura**

En el Plan de análisis del presente trabajo se encuentran los resultados de los análisis de la calidad de las aguas del área de influencia directa del vertedero.

La guía ambiental para el cierre de vertederos a cielo abierto propone dos alternativas para el tratamiento de estos lugares, la primera es trasladar los residuos a un relleno sanitario técnicamente construido, rellenar el lugar y tratar de restablecerlo a su condición original, alternativa demasiado costosa económica y ambientalmente, teniendo en cuenta la magnitud de los residuos depositados. La segunda alternativa propone el saneamiento del vertedero en el sitio de origen siguiendo las disposiciones técnicas y ambientales recomendadas por la legislación ambiental vigente, así como tener en cuenta las características de clima, suelo, hidrología y las limitaciones económicas del municipio.

El saneamiento del vertedero objeto de este estudio se debe efectuar en el sitio de origen realizando las siguientes actividades para su clausura y enmarcada en ella proponer la recuperación paisajística del mismo.

- Cobertura final
- Manejo de la escorrentía superficial
- Control de gases
- Control de lixiviados

#### **7.1.7.1 Cobertura final**

Según el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS- las capas de la cobertura final requerida para este vertedero de complejidad media alta son la capa de control de infiltración y la capa de control de erosión.

La primera debe tener un espesor mínimo de 0.45 metros después de compactada (3 a 4 pasadas) en arcilla muy impermeable como las que componen los suelos del vertedero de acuerdo al estudio de los mismos, ubicadas en el rango de  $1 \times 10^{-6}$  y con una densidad aparente del 90%.

La cantidad de arcilla requerida es la siguiente.

$$\text{Area total a cubrir} = 43613.17 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor de la capa} = 0.45 \text{ m}$$

$$\text{Factor de compactación} = 1.25$$

CAC = Cantidad de arcilla necesaria para la cobertura

$$\text{CAC} = (43613.17 \text{ m}^2 \times 0.45 \text{ m}) \times 1.25 \Rightarrow \text{CAC} = 24532.4 \text{ m}^3$$

Tabla 32. Costos de la arcilla necesaria para la capa de control de infiltración

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Material: Arcilla impermeable $1 \times 10^{-6}$	M <sup>3</sup>	24532	1425	34.958.100
2	Transporte	M <sup>3</sup>	24532	2850	69.916.200
4	Mano de obra	M <sup>3</sup>	24532	1425	34.958.100
5	Compactación	Horas maquinaria	85.3	80.000	6.825.000
<b>TOTAL</b>					<b>\$146.657.400</b>

➤ **Capa de control de erosión.**

La capa de control de erosión se realiza preferentemente con suelos del primer horizonte de zonas cercanas al lugar solo debe recibir una compactación mínima y pueden agregársele enmiendas fertilizantes, en este caso particular se sugiere una capa de 0,05 m del bioabono producido en la planta de tratamiento de residuos sólidos de Arauca.

El material necesario para estas dos capas es el siguiente:

$$\text{Area total a cubrir} = 43613.17 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor de la capa} = 0.15 \text{ m}$$

SRC = Suelo requerido para la cobertura

$$\text{SRC} = (43613.17 \text{ m}^2 \times 0.15 \text{ m}) \Rightarrow \text{SRC} = 6541.9 \text{ m}^3$$

➤ **Bioabono.**

$$\text{Area total a cubrir} = 43613.17 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor de la capa} = 0.05 \text{ m}$$

*BRC = Bioabono requerido para la cobertura*

$$BRC = (43613.17 \text{ m}^2 \times 0.05 \text{ m}) \Rightarrow BRC = 2180.64 \text{ m}^3$$

Tabla 33. Costos del material necesario para la capa de control de erosión

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Material: Descapote del horizonte orgánico	M <sup>3</sup>	6542	1200	7.850.400
2	Transporte	M <sup>3</sup>	6542	2850	18.644.700
3	Mano de obra	M <sup>3</sup>	6542	1200	7.850.400
4	Bioabono	M <sup>3</sup>	2180	16000	34.880.000
<b>TOTAL</b>					<b>\$69.225.500</b>

### 7.1.7.2 Manejo de la escorrentía superficial

Diferentes autores coinciden en la importancia del manejo de escorrentía, para reducir el contacto de las aguas con los residuos y así disminuir la producción de lixiviados y los peligros de derrumbes en zonas con pendientes elevadas. El total del área del relleno presenta dos condiciones diferentes 4,3 hectáreas hacia el sur cubiertas de residuos y 5,26 ha hacia el norte con zonas libres de residuos.

Con base en la información obtenida en el levantamiento topográfico, es muy importante ubicar el terreno general del vertedero en la cota mínima de 97 referenciada con la vía Arauca-Caño Limón, con el fin de amortiguar los impactos de inundación en un invierno crítico que afecte los residuos depositados, las capas de cobertura y la vegetación plantada. La zona con mayor depósito de residuos dentro del área total del vertedero está ubicada desde los 252 metros paralelos a la vía en dirección a caño Limón, hacia el sur, cubriendo todo el terreno hasta el extremo occidental, aunque en este espacio se encuentran muchas depresiones y espacios libres de residuos y de los 253 metros hacia Arauca en una longitud de 60 metros paralelos a la vía y 50 metros hacia el occidente se encuentran montones dispersos de residuos los cuales deben llevarse con maquinaria hasta el depósito principal para dejar esta área libre de residuos para la revegealización, como aparece en el Anexo 1. Plano No. 2.

Deben acumularse los residuos existentes en la zona principal hacia el sur en un área de 43.614 m<sup>2</sup> en una cota mínima de 97 con respecto a la vía, aumentándola hacia el centro a la 98 para llegar a la cota 98.65 hacia el occidente con el material de cubierta final y crear una pendiente del 1.9% hacia el norte y hacia el sur para la evacuación de las aguas de escorrentía. En el área de residuos la separación de aguas se debe realizar de oriente a occidente dividiendo por la mitad el área de residuos, creando las pendientes hacia el sur y hacia el norte en una extensión de 87 metros.

Las aguas vertidas al sur no se recogen y se depositan en la sabana que drena hacia el occidente, pero las aguas que se vierten al norte se recogen en un canal interceptor paralelo al montículo de residuos con pendiente hacia el espacio debajo del muro a 20 metros del portón de acceso hacia el norte, el cual se comunica con la alcantarilla que atraviesa la vía y distribuye las aguas al potrero frente al vertedero (oriente).

En el año 2004 se presentó un invierno crítico en el Municipio de Arauca y se evidenció la importancia y necesidad del canal interceptor de aguas propuesto en el anterior párrafo, teniendo en cuenta que la inundación del río Arauca se produce al occidente del vertedero cubriendo totalmente las laguna ubicadas en esta zona justo al borde del mismo y de manera natural evacua estas aguas por un canal natural formado por el agua con unas dimensiones de 1,5 metros de ancho y 1 metro de profundidad, vertiéndolas a través de la alcantarilla que atraviesa la vía Caño Limón -Arauca hacia la sabana inundable frente al mismo.

El canal interceptor, que además recoge el vertimiento de las aguas a la parte norte del vertedero donde se realizaran las plantaciones de especies propias de la región, debe cubrirse con grama. La zona libre de residuos debe llevarse de la cota 97 desde el occidente, hasta 96,60 al oriente de manera que las aguas discurran de manera natural hacia la alcantarilla donde desemboca el canal. Es importante no obviar este requerimiento con el fin de evitar la inundación del sector en un invierno crítico y perjudicar las plantaciones establecidas.

### **7.1.7.3 Control de gases**

Los gases principales de vertedero son el metano y el dióxido de carbono, sin embargo aparecen concentraciones traza de otros gases dependiendo de la naturaleza de los residuos depositados, entre ellos se encuentran benceno, cloroformo, oxido de etileno, tolueno e hidrogeno.

En la primera fase de la formación del gas de vertedero los compuestos biodegradables comienzan su descomposición por bacterias aeróbicas presentes en ellos.

En la segunda fase denominada de transición bajan los niveles de oxígeno provocando condiciones anaerobias, el nitrato y el sulfato se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrogeno con elevada producción de ácidos orgánicos. En la fase III conocida como fase ácida se incrementa la actividad microbiana, generando significativas cantidades de gas de hidrogeno.

Durante esta fase los microorganismos anaerobios facultativos y obligados degradan los ácidos orgánicos para generar grandes cantidades de dióxido de carbono, el pH baja significativamente debido a la presencia de los ácidos; la DBO, la DQO y la conductividad se incrementan por la disolución de los ácidos orgánicos en el lixiviado.

Cuando el contenido de humedad no permite la formación del lixiviado, estos constituyentes quedan formando parte de los constituyentes del vertedero.

La fase de fermentación es la fase de formación del gas metano, predominan los microorganismo metanogénicos, estrictamente anaerobios que convierten el gas de hidrogeno y el ácido acético en metano y dióxido de carbono.

Se reducen las concentraciones de metales pesados de DBO, DQO y de conductividad, pero aumenta el pH. La V fase conocida como de maduración se caracteriza por una disminución en la producción de gases de vertedero, quedando los sustratos de degradación lenta como los ácidos fulvico y humico.

Para la producción de gases de vertedero y lixiviado es fundamental la presencia de humedad, lo que motiva a proponer la realización de los trabajos de saneamiento del vertedero en los meses de enero a marzo para lograr sellar los residuos en época seca y así reducir considerablemente la producción de lixiviados y gases. Se recomienda la construcción de 4 chimeneas verticales por hectárea lo que equivale a 17 en la zona principal de depósito, las cuales deben construirse un metro por encima de la superficie de cubierta, para evitar la emisión de gases a la vegetación plantada en la recuperación paisajística lo que puede resultar altamente perjudicial.

Para la instalación de las chimeneas es necesario excavar dos metros de profundidad en los terrenos desde las capas de cobertura final con residuos en los sitios especificados en el Anexo 1. Plano No. 3. con un diámetro de 0.3 metros, insertando el tubo de la chimenea en la mitad y rellenando el espacio excedente en contacto con los residuos con piedra No. 3 y No.2.

Tabla 34. Costo de los materiales para la construcción de las chimeneas

ITEM	DESCRIPCION	UNID.	CANT.	V.UNITARIO	V.TOTAL
1	Localización y replanteo	Ha.	5	100.000,00	500.000,00
2	Excavación manual para tubo	Jornal	8,5	17.000.00	144.500.00
7	Tubo PVC Ø 6' con perforaciones de Ø 1/2 cada 10 cms L= 2.5 mts	Un.	17	118.900,00	4.637.100,00
9	Relleno en piedra Ø 10cms, h= 1.35 mts	M <sup>3</sup>	1.210	120.000.00	145.200.00
10	Codo en PVC de 6"	Un	17	61.200,00	1'040.400.00
11	Unión PVC de 6"	Un.	17	22.000,00	374.000.00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 6' 841.200</b>

➤ **Volumen de la piedra requerida en las chimeneas**

Volumen del cilindro = 1.35 m de altura hasta donde debe llegar la piedra.

Diámetro = 0.3 m

Cilindro incluido de 0,15 m de diámetro.

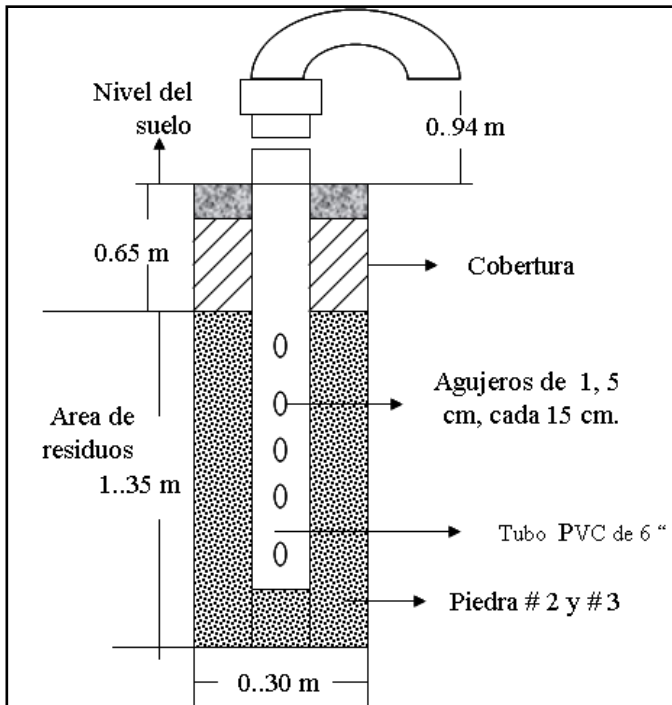
$$\text{Volumen del cilindro} = (\text{Área de la base} \times \text{Altura})$$

$$\text{Área de la base} = (\pi \times R^2)$$

$$V = (0.095 \text{ m}^3 \times 17)$$

$$\text{Volumen total de piedra} = 1.62^3 \text{ No 2 y No 3}$$

Figura 34. Características de las chimeneas a instalar



Fuente: Adaptado Tchobanoglous 1998

#### 7.1.7.4 Control de lixiviados

Para la recuperación de lixiviados no se construirá ningún tipo de estructura, basados en los análisis de suelos que presentan un terreno altamente impermeable, con un nivel freático de 4 y 5 metros en la época seca y considerando que el mayor daño a las aguas subterráneas por efectos de lixiviados ya se realizó, entonces no se justifica la inversión.

## 7.2 SISTEMAS DE SUPERVISIÓN AMBIENTAL

Para inspeccionar los impactos producidos por el vertedero en los componentes aire, agua y suelo se ubican instalaciones en el y sus alrededores. Para el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas se construyen pozos de acuerdo a la Guía Técnica GTC 30 y las y NTC-ISO 5667-11, del Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC. Las especificaciones técnicas para la construcción de los pozos de monitoreo para aguas subterráneas están dadas por la Norma Técnica Colombiana NTC 3948.

Las aguas superficiales no necesitan monitoreo de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas. De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 3948, ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION DE UN POZO DE MONITOREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

Como primera medida se tienen unas definiciones básicas.

- **Piezómetro:** Perforación hecha para el control de la calidad de aguas subterráneas.
- **Piezómetros dobles:** Construcción de 2 piezómetros sencillos adyacentes en perforaciones separadas, diferenciados por la profundidad. El piezómetro construido a menor profundidad se identifica con la letra A y el segundo con la letra B.
- **Acuíferos:** Formación o estrato, bajo la superficie, capaz de almacenar y permitir el flujo y extracción de agua subterránea.
- **Agua subterránea:** Volumen de agua existente bajo la superficie.
- **Arena sílicea:** Material utilizado en lugar de grava como relleno de filtro de un pozo de monitoreo.
- **Bentonita:** Material arcilloso de diferente presentación que se utiliza como sello o aislante en la construcción de un pozo de monitoreo.
- **Espacio Anular:** Espacio existente entre la tubería y la paredes del pozo.
- **Filtro o rejilla:** Sección de tubería en el interior de un pozo, ranurada con el propósito de permitir.
- **Filtro de grava:** Termino correspondiente al relleno de material arenoso o de grava que va en el espacio anular entre los filtros y las paredes de un pozo de monitoreo.
- **Pozos de monitoreo:** Red de piezómetros utilizada para evaluar la calidad de las aguas subterráneas.
- **Purga o desarrollo:** Operación mediante la cual se deja un piezómetro en condición de evaluación. Esta condición consiste en la extracción de agua de un piezómetro con el fin de limpiar los residuos de perforación.

- **Tubería ciega o lisa:** Sección de tubería no ranurada que se coloca en un pozo de monitoreo.
- **Nivel freático:** Superficie imaginaria de agua subterránea que separa la zona capilar de la zona vadosa, en condiciones de no confinamiento y con una presión igual a la atmosférica.
- **Tabla de agua:** Superficie imaginaria del nivel de saturación de un acuífero no confinado, el cual está a presión atmosférica.
- **Zona vadosa o de aireación:** Conocida como zona no saturada es la zona comprendida entre la superficie del suelo y la zona capilar.
- **Zona capilar:** Zona de transición entre la zona saturada y no saturada, donde la presión es menor que la atmosférica y el agua es retenida por la tensión superficial de las partículas.

Para el presente caso se deben perforar tres (3) piezómetros dobles en tubería para agua potable lisa o ciega y filtros de rejilla en PVC de 2” de diámetro, para evaluar la contaminación a diferentes profundidades se perfora un pozo hasta la tabla de agua en época seca y otro en el primer acuífero, la ubicación de estos pozos esta determinada en el Anexo 1. Plano No. 3.

Las rejillas deben tener una extensión de 1.5 metros y deben quedar en contacto con el agua, la perforación debe ser realizada con un barreno helicoidal tipo *Auger*, de preferencia con eje hueco con diámetro no inferior a 4,5 pulgadas.

Se debe verificar que la tubería este libre de cualquier material, empleando un detergente sin fosfato y lavando con agua potable. La limpieza se debe hacer antes de que los materiales de PVC se lleven al sitio, luego de lavados se debe envolver en plástico para prevenir contaminación durante su transporte al sitio de perforación.

### 7.2.1 Construcción de los piezómetros

El espacio anular hasta un máximo de 0.5 metros por encima de la rejilla se llena con arena gradada de alto contenido de sílice, puede ser sustituida por grava de río limpia y lavada, arcillas, limos, y arena fina se deben remover antes de empacar el material y transportarlo al sitio. Se debe colocar un sello impermeable con una longitud promedio de 1 metro utilizando tabletas bentonita y/o cemento tipo bentonita o una mezcla de esta con arenas. El espacio anular remanente se llena con bentonita “grout “ o en trozos hidratándola con agua potable.

Los primeros 50 cm de perforación bajo la superficie, se llenan en el espacio anular con concreto impermeabilizado, formando una base, sobresaliente 50 cm del suelo con una pendiente que impida que la escorrentía pase directamente al piezómetro, empotrando sobre ella un tubo de acero de aproximadamente 14 cm de diámetro, con tapa también metálica, para colocar un mecanismo de seguridad. Como un candado.

Figura 35. Diseño general de un piezómetro de acuerdo a la Norma técnica Colombiana NTC3948.

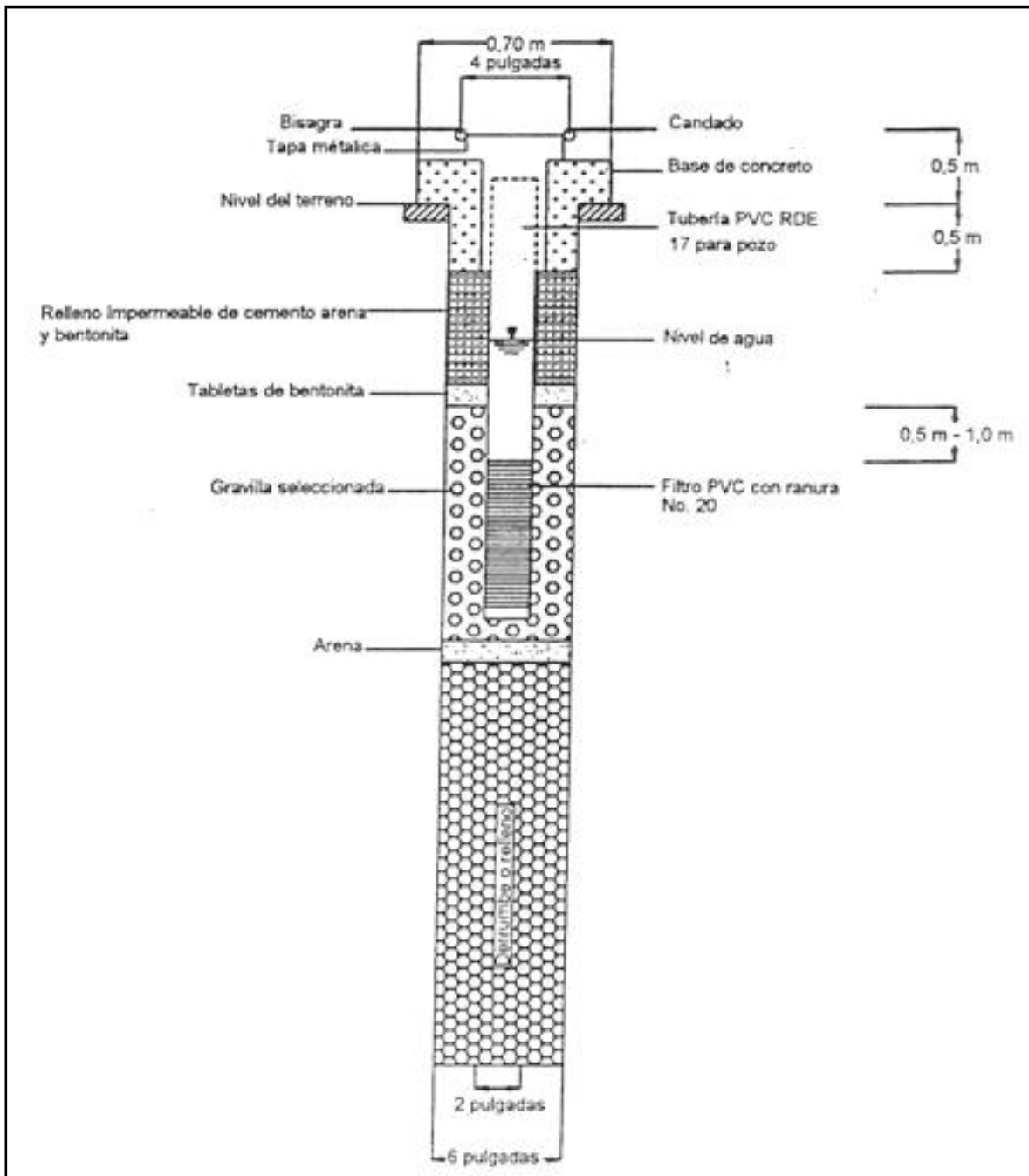


Tabla 35. Costos de los piezómetros

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Tubo PVC de 2"	Metro.	75	12.000	900.000
3	Concreto	M <sup>2</sup>	0.6	179.640	107.784
4	Arena	M <sup>3</sup>	2	7.000	14.000
4	Gravilla seleccionada	M <sup>3</sup>	1	120.000	120.000
5	Dispositivo de seguridad metálico	Unidad	6	50.000	300.000
6	Mano de obra	Jornales	30	15.000	450.000
<b>TOTAL</b>					<b>\$1.891.784</b>

### 7.2.2 Guía ambiental para el muestreo de aguas subterráneas

Basada en La NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC-ISO 5667-11. El objeto específico de esta norma en el presente proyecto es el de identificar el riesgo de contaminación de acuíferos causado por actividades antropicas como es el caso del vertedero de residuos sólidos a cielo abierto del municipio de Arauca, que puedan producir impacto sobre las aguas subterráneas.

- **Materiales:** los recipientes utilizados para el muestreo de los parámetros a estudiar son polietileno, polipropileno, policarbonato y vidrio.
- **Equipo para Muestreo:** para la toma de muestras se debe utilizar un bailer y equipos para la medición in situ de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.
- **Selección del punto de muestreo:** Contaminación en fuentes puntuales, como es el caso en estudio, es menester considerar la ubicación del punto de contaminación con relación a la dirección del flujo subterráneo. Un piezometro doble de monitoreo debe construirse sobre el vertedero a una profundidad que alcance el acuífero y otro sobre la tabla de agua. Deben construirse dos (2) piezómetros dobles mas de manera triangular con respecto al que esta sobre el vertedero con una profundidad que alcance el primer acuífero y la tabla de agua en una distancia máxima de 200 metros. Ver Anexo 1. Plano 3.
- **Método de muestreo:** Para el presente trabajo se recomienda el Muestreo a profundidad que consiste en hacer bajar un dispositivo de muestreo en este caso un Bailer, por el interior del pozo, de acuerdo a la profundidad de este se calcula la cantidad de agua que contiene el tubo, para extraerla y desecharla antes de tomar la muestra definitiva para depositarla en un recipiente adecuado.

- **Transporte preservación y almacenamiento de las muestras:** Este aspecto es muy importante para lograr resultados representativos de las condiciones en el momento del muestreo. En el presente caso deben preservarse las muestras en frío y enviarse el mismo día al lugar donde se llevaran a cabo los análisis.
- **Identificación y registro de las muestras:** Los recipientes que contienen las muestras de agua deben identificarse con rótulos con la siguiente información:
  - Nombre y ubicación del punto de muestreo.
  - Fecha y hora en que se recogió la muestra
  - Naturaleza de los estratos en los que está el acuífero y el agua
  - Tipo de punto de muestreo
  - Cualquier información descriptiva pertinente
  - Método de recolección de muestra
  - Apariencia de la muestra en el momento de la recolección
  - Detalle de la técnica de preservación utilizada
  - Detalle del método de almacenamiento.
  - Nombre de la persona que recogió la muestra.

Parámetros a medir y frecuencia: Siguiendo las indicaciones del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico – RAS-, Sección II Título F, numeral F.6.5, los siguientes son los parámetros a monitorear en aguas subterráneas del área de influencia de rellenos sanitarios o vertederos. El muestreo debe realizarse semestralmente, llevando un archivo organizado de los mismos, comparándolo con los resultados obtenidos en el presente estudio, hasta que los niveles lleguen a la normalidad.

- pH
- DQO
- DBO
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto
- Amoniaco
- Nitritos
- Nitratos
- Metales pesados

### 7.2.3 Monitoreo de gas de vertedero

Los parámetros a monitorear en los gases y las frecuencias son los siguientes de acuerdo al RAS –2000:

- Composición del biogás (Bimestral).
- Explosividad (Bimestral).
- Caudal (Mensual).

Las muestras de gases se recolectan en 3 de las chimeneas existentes, ubicándolas equitativamente dentro del vertedero.

#### **7.2.4 Monitoreo de la cobertura final.**

Se instalaran 4 testigos distribuidos en la zona de depósito de residuos del basurero, consistentes en varillas de hierro debidamente marcadas o gradadas y enterradas profunda y firmemente para que actúen como base marcada para medir la cimentación del terreno.

## 8 PLAN DE MANEJO POSCLAUSURA

La Empresa de servicios Públicos de Arauca EMSERPA, es la encargada de la administración del vertedero y por consiguiente debe sufragar los gastos generados por el mantenimiento del mismo, además de mantener en sus archivos magnéticos y documentales toda la información referente.

El manejo posclausura comprende las siguientes actividades:

### 8.1 Identificación

Colocación de una placa metálica sobre el muro en la entrada principal del vertedero donde quede consignada la fecha definitiva de cierre, especificación de que funcionaba un basurero en el sitio, los años de vida útil y en este caso que se propone la creación de un parque de especies vegetales exóticas propias de la región orinocense y el nombre del mismo.

### 8.2 Inspecciones rutinarias

En la tabla siguiente se especifican los cuidados que se deben tener con los sistemas dentro del vertedero:

Tabla 36. Inspecciones rutinarias posclausura del vertedero

<b>PUNTOS DE INSPECCIÓN</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PROBLEMAS A RESOLVER</b>
Cobertura final	Una vez al año en el mes de Agosto	Erosión, encharcamiento, agrietamiento.
Vegetación de cobertura	Mensual, en los meses secos y una vez después de lluvias	Malezas, pasto seco
Pendientes finales	Dos veces al año	Aguas estancadas
Drenaje superficial	Dos veces al año en invierno	Canal y alcantarillas obstruidos.
Supervisión de gas	De acuerdo al plan de monitoreo	Revisión de chimeneas y Toma de muestras
Supervisión de aguas subterráneas	De acuerdo al Plan de monitoreo	Revisión de pozos y toma de muestras

Adaptada de (Tchobanoglous, 1998)

## 9 PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PAISAJÍSTICA

Para la recuperación paisajística del área del vertedero se propone la construcción de un parque, plantado con especies características de las sabanas de Arauca, que tengan un valor no solo económico sino también cultural por su arraigo entre los pobladores de la región, que incluya y algunos frutales que pueden ser sembrados en la zona libre de residuos retirada del deposito principal, para utilizarlo como sitio de esparcimiento pasivo y de educación ecológica y ambiental.

Como primera medida debe hacerse una inspección visual para identificar las características físicas del suelo y de la vegetación, en la cual se observo que en la parte del vertedero que no está cubierta de residuos crece una vegetación típica de las áreas circundantes y en la época de invierno aun sobre los espacios con tierra dentro del área de deposito de basuras crecen plantas rastreras como ahuyamas y arbustos como tomates y escobillas entre otras. En la zona norte del vertedero la vegetación esta compuesta por árboles, arbustos y pasturas, que presentan un estado saludable lo cual es un buen indicador de la calidad de los suelos.

Tabla 37. Especies vegetales presentes en el vertedero

<b>NOMBRE COMUN</b>	<b>NOMBRE CIENTIFICO</b>
Escoba blanca	<i>Melochia Lupulina</i>
Escoba morada	<i>Melochia pyramidata</i>
Rabo de zorro	<i>Andropogon Dicomis</i>
Palito de agua	<i>Juscaea linifolia</i>
Batatilla	<i>Ipomea sobreboluta</i>
Paja de agua	<i>Panicum laxum</i>
Pega - pega	<i>Cordia lutea</i>
Saladillo	<i>Cerapia llansium</i>
Macapirito	<i>Casearis silvestris</i>
Yagrumo	<i>Cecropio peltata</i>
Kudzu tropical	<i>Pueraraia phaseoloide</i>
Ortigo	<i>Urera bacifera</i>
Lirio de agua	<i>Echinorduros panicula</i>

Los suelos son de color gris, seco en verano y con encharcamiento leve en el invierno con depósitos de agua de poca profundidad en los lugares bajo donde no existen fosas ni pertenecen al estero ubicado al extremo nororiental del vertedero a 10 metros de la cerca por el norte y pegado a ella por el oriente en una extensión aproximada de 20 x 15 metros, la profundidad es realmente muy mínima y durante el verano permanece seco.

Sobre la zona inundables dentro del vertedero hacia el extremo nororiental se propone la perforación del terreno para la construcción de una laguna artificial para embellecimiento del lugar de 15 x 30 metros de área y 8 metros de profundidad, rodeada de árboles de guamo y bambú, el material extraído equivalente a 3600 m<sup>3</sup> puede utilizarse en la nivelación de la zona norte del vertedero y el levantamiento de los alrededores de la laguna.

Se recomienda pañetar el muro que enmarca la entrada principal y crearle un mural que lo cubra todo con un paisaje típicamente llanero, donde sobresalgan especies de flora y fauna amenazada, este mural debe ser realizado en mosaico para evitar el deterioro.

El portón de acceso debe construirse en malla galvanizada de alta densidad, el cerco perimetral debe reforzarse con cerca viva de limón swinglia, sembrando una planta cada 50 cm en hoyos de 30 cm de diámetro x 30 cm de profundidad rellenos con bioabono, en la parte interna del vertedero en el mes de abril para aprovechar el riego natural de la época invernal, las plantas deben tener un tamaño mínimo de 50 cm, para que puedan soportar la fuerza de la lluvia. La cantidad total de plantas para el cerramiento es de 2360.

Especies de fauna de la región amenazadas para plasmarlas en el mural:

- Danta
- Caimán Negro
- Guacamayas
- Loros
- Mirla
- Perro de agua
- Toninas
- Armadillo montañoero
- Chigüiro
- Puma
- Venado.

Para la plantación en la zona de residuos solo se propone cobertura de grama sp. Adquiriendo 100 m<sup>2</sup> en estolones de 20 x20 cm.

Se sembrara uniendo los estolones hasta completar un metro cuadrado, de esta misma forma en cien (100) partes del terreno a plantar, distribuidos equitativamente.

Las 4,3 hectáreas se dividen en 100 partes de 430 m2 cada una y en la mitad de cada una de estas partes se procede a sembrar 1 m2 de grama, esta actividad debe realizarse en el mes de abril para aprovechar las primeras lluvias, de manera que cuando lleguen las lluvias mas fuertes en el mes de junio el pasto ya esté prendido.

Tabla 38. Costos para la cobertura de 1 hectárea con grama sp

CATEGORÍA DE INVERSION	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/TOTAL
<b>1.COSTOS DIRECTOS</b>	Jornal			
1.1. MANO DE OBRA	Jornal			
Trazado	Jornal	1	16.940,00	16.940,00
Transporte de estolones	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Siembra	Jornal	6	16.940,00	101.640,00
Control fitosanitario	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Limpia(Dos por Año)	Jornal	14	16.940,00	237.160,00
Subtotal mano de obra	Jornal	27	16.940,00	457.380,00
1.2 Insumos				
Estolones de grama	M2	23,2	18.000,00	417.600,00
Insecticidas	Kg.	2	5.445,00	10.890,00
Subtotal Insumos				428.490,00
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				<b>885.870,00</b>
<b>2. COSTOS INDIRECTOS</b>				
Herramientas (5% mano de obra				53.361,00
Transporte insumos(15% costo insumos)				67.881,00
Asistencia Técnica(10% mano de obra + insumos)				151.976,00
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>273.218,00</b>
<b>TOTAL COSTOS ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO PRIMER AÑO</b>				<b>\$1.159.088,00</b>

El costo total de la empradización de las 4,3 hectáreas de la zona de residuos es de: CUATRO MILLONES NOVECIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL SETENTA Y OCHO PESOS MCTE (\$4'984.078).

La zona norte es donde van a plantarse los árboles de las especies y variedades escogidas utilizando el trazado kinkunce o cinco de oros (Sena Mina Ambiente, 1997), que consiste en dividir el área a sembrar en cuadrados de igual dimensión y se plantan los árboles en el centro del cuadro donde se cortan las diagonales.

En la tabla 39 se citan las especies a plantar en el área seleccionada con sus características principales y sus requerimientos.

Tabla 39. Vegetación a establecer en el área norte del basurero

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	REQUERIMIENTOS	USOS
Congrio	<i>Acosmiumnitens</i> (Sw)	Soporta inundaciones prolongadas y se desarrolla en suelos de baja fertilidad. Tiene gran tamaño	Madera de buena calidad. Viviendas, botalones, fabricación de varetas para corral. Es una especie que tiene potencial para la reforestación protectora y productora ya que se desarrolla en suelos que permanecen largos periodos de tiempo inundados
Mararabe o mararay	<i>Ajpham Caryotifolia</i>	Requiere buen drenaje y fertilidad baja media y alta. Tamaño 5- 10 metros	Almendra del fruto comestible, utilizada en juegos tradicionales de semana santa
Comino, laurel amarillo	<i>Aniba penurensis</i>	Buen drenaje, baja fertilidad. Tamaño mediano	Excelente madera para ebanistería.
Cubarro	<i>Bactris cuvaro</i>	Drenaje malo ha moderado, fertilidad media a alta. Tamaño hasta 4 metros.	Frutos maduros comestibles, madera usada para la fabricación de artesanías, cercas, chuzos para asar carne, palancas, para la construcción rústica y fabricación de trampas para aves y peces
Coronillo, níspero	<i>Bellucia grossularioides</i>	Drenaje bueno a regular, baja fertilidad. Tamaño hasta 10 metros	Alimento de fauna silvestre
Ceiba Tolúa, cedro macho	<i>Bombacopsis quinata</i>	Resiste inundaciones prolongadas y sequías, suelos fértiles. Tamaño hasta 32 m de altura y 4.2 de diámetro	Buena madera: Aglomerados, enchapados, muebles, canoas, tableros.

Divi divi	Caesalpinia coriaria	Excelente drenaje fertilidad media a baja. Tamaño hasta 9 metros	Uso industrial en curtiembre. Uso medicinal astringente. Madera para postes
Cedro blanco, cedro rosado	Cedrela odorata	Buen drenaje aireado y profundo, suelo fértil. Tamaño hasta 40 metros	Madera para ebanistería, contrachapados, instrumentos musicales, artesanías, puertas y canoas. Uso medicinal.
Aceite, cobaiba	Copaifera officinalis	Buen drenaje, pero tolera inundaciones, baja fertilidad, crece hasta 20 m.	Extendido uso medicinal de sus resinas (astringente, laxante, estimulante) las que también tiene uso industrial (Pinturas, tintas, plásticos), la madera es de buena calidad resistente al agua
Chaparro	Curatella americana	Excelente drenaje, baja fertilidad, crece hasta 4 m	La corteza curte las pieles, de importancia apícola y cultural.
Guadua	Guadua angustifolia	No resiste inundaciones prolongadas, suelo fértil, crece hasta 25m	Madera de excelentes condiciones físico-mecánicas. protector de cuencas y suelos
Guarataro	Vitex divaricata	Buen drenaje fertilidad de media a baja, crece hasta 20 metros	Buena madera para cercas y frutos comestibles para fauna silvestre.
Flor amarillo	Tabebuia ochracea	No soporta inundaciones, baja fertilidad, crece hasta 6 m	Excelente madera, muy apreciada en el llano. Ornamental.
Palma real	Sheelea butyraceae	Buen drenaje pero soporta inundaciones temporales, crece hasta 30 m	Las hojas se utilizan para techar vivienda, de la corteza se extrae vino y de los frutos aceite comestible.

Fuente: Adaptado de Garavito 2001 Árboles de Arauca

Se recomienda realizar la producción de las plántulas en un vivero y llevarlas a la plantación cuando estén aptas para ello de acuerdo a las características de cada especie. Es muy importante ejecutar este transplante en la época de inicio de lluvias para reducir el impacto de cambio de hábitat en las plantas, cuidando de proteger las plantas en el transporte y almacenamiento antes de la siembra.

La preparación del terreno para llevar a cabo la plantación consta de los siguientes pasos.

- **Acondicionamiento del terreno:** en este paso se comienza retirando la vegetación existente no deseada y el arado con tractor utilizando dispositivos punzantes para soltar el terreno.
- **Marcación:** se trazan sobre el terreno las líneas con las medidas establecidas para la formación de los cuadrados para marcar los lugares donde se establecerá cada planta, esto se hace con la ayuda de cinta métrica, estacas y cordeles. Las medidas para los cuadrados son de 3 x 3 metros.
- **Registro:** se lleva registro donde se anote el nombre de las especies plantadas, la cantidad, la fecha de siembra y la ubicación.
- **Plateo y ahoyado:** Se abren huecos de 20 x 20 x 30 cm., donde se depositan 10 cm. en el fondo del bioabono producido en la planta de tratamiento de residuos sólidos que funciona en el Municipio de Arauca.
- **Plantación:** Se retira la bolsa que guarda la raíz de la planta sin dañar el cepellón de tierra, se introduce en el hueco el arbolito teniendo cuidado de rellenar el espacio que lo rodea.

Todos los árboles plantados en la zona occidental del vertedero paralelo a la cerca deben hacerse de manera elevada, es decir se hace un montículo y sobre este se abre el hueco.

La cantidad de árboles a plantar es la siguiente: La zona norte del vertedero donde se debe realizar la revegetalización es de 52600 m<sup>2</sup> de acuerdo a los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, de los cuales 750m<sup>2</sup> se ocuparan en la construcción de la laguna artificial, 2250m<sup>2</sup> se utilizaran en 3 senderos de sur a norte con un ancho de 5 metros y una extensión 150 metros, 3950m<sup>2</sup> de área libre, cubierta de grama frente a la zona de residuos y una segunda zona libre de 9550 m<sup>2</sup> alrededor de la laguna, sumadas estas cantidades se tienen 15 750m<sup>2</sup> los cuales deben restarse del área inicial para un total de 36850 m<sup>2</sup> aptos para plantar. Ver Anexo 1. Plano 4.

La formula para calcular el número de árboles a plantar (Rodríguez, 1987), es la siguiente:

$$N = \frac{S}{D} \text{ en donde } (N: \text{Número de árboles}), (S: \text{Área}) \text{ y } (D: \text{Espacio entre árboles})$$

$$S = (36850 \text{ m}^2)$$

$$D = (3 \text{ m} \times 3 \text{ m}) = 9 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{36850 \text{ m}^2}{9 \text{ m}^2} = \Rightarrow N = 4094 \text{ árboles}$$

La reforestación ha realizar en este terreno es protectora productora con una densidad de siembra aproximada de 1.100 árboles por hectárea, siguiendo las recomendaciones que para este tipo de plantación ofrece el Ministerio del Ambiente, vivienda y Desarrollo Territorial. En las tablas siguientes se establecen los costos de plantación y mantenimiento por 1 año de la plantación de las 3, 68 hectáreas de la zona norte de vertedero, con precios estimados para el años 2005.

Tabla 40. Costos de la plantación y mantenimiento de una hectárea reforestada primer año

CATEGORÍA DE INVERSION	UNIDAD	CANTIDAD	V/UNITARIO	V/TOTAL
1.COSTOS DIRECTOS	Jornal			
1.1. MANO DE OBRA	Jornal			
Preparación del terreno	Jornal	10	16.940,00	169.400,00
Trazado	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Plateo y Ahoyado	Jornal	15	16.940,00	254.100,00
Transporte de plantas	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Siembra	Jornal	6	16.940,00	101.640,00
Control fitosanitario	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Aplicación fertilizantes	Jornal	2	16.940,00	33.880,00
Replante	Jornal	2	16.940,00	33.880,00
Limpia(Dos por Año)	Jornal	14	16.940,00	237.160,00
Adecuación de caminos	Jornal	2	16.940,00	33.880,00
Protección de incendios	Jornal	3	16.940,00	50.820,00
Subtotal mano de obra	Jornal	63	16.940,00	<b>1.067.220,00</b>
1.2 Insumos				
Plántulas	Plántulas	1210	302,50	366.025,00
Fertilizantes NPK	Kg.	50	968,00	48.400,00
Calfos	Kg.	50	363,00	18.150,00

Bórax	Kg.	5	1.815,00	9.075,00
Insecticidas	Kg.	2	5.445,00	10.890,00
Subtotal Insumos				<b>452.540,00</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				<b>1.519.760,00</b>
<b>2. COSTOS INDIRECTOS</b>				
Herramientas (5% mano de obra)				53.361,00
Transporte insumos(15% costo insumos)				67.881,00
Asistencia Técnica(10% mano de obra + insumos)				151.976,00
<b>TOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>				<b>273.218,00</b>
<b>TOTAL COSTOS ESTABLECIMIENTO Y MANTENIMIENTO 1 AÑO</b>				<b>\$1.792.978,00</b>

Fuente: Adaptado MAVDT para año 2004..

Tabla 41. Costos totales del establecimiento y mantenimiento por un año de la plantación y cerramiento del vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Cerramiento en Cerca viva limón swinglia del vertedero	Metros lineales	1.182	3.034	3.585.956
2	Plantación con especies nativas de la orinoquia	Hectáreas	3.68	1.792.978	6.598.159
<b>TOTAL</b>					<b>\$10.184.115</b>

En la siguiente tabla se establecen los costos totales para las obras de recuperación.

Tabla 42. Costos totales de las obras de recuperación del vertedero de residuos sólidos del Municipio de Arauca.

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Cerramiento en postes y alambre de púa galvanizado	Metros	1.182	7780	9.195.000
2	Portón de acceso de 4 metros en alambre galvanizado	Unidad	1		1.000.000
3	Descapote y movimiento de residuos.	Horas maquina	50	100.000	5.000.000
4	Cobertura final capa de control de infiltración	M3	24532	5978	146.657.400
	Cobertura final capa de control	M3			

5	de erosión		6542	10582	69.225.500
6	Chimeneas para extracción de gases	UN	17	402424	6.841.200
7	Piezómetros dobles para monitoreo aguas subterráneas	UN	3	630595	1.891.784
8	Empradizacion zona de residuos	Hectáreas	4.3	1159088	4.984.078
9	Cerramiento del vertedero con cerca viva de limón swinglia	Metros lineales	1.182	3.034	3.585.956
10	Movimiento de tierra para nivelación del suelo para plantación y perforación de lagunas	Horas maquina	90	120.000	10.800.000
11	Plantación con especies nativas de la orinoquia	Hectáreas	3.68	1.792.978	6.598.159
<b>TOTAL</b>					<b>\$265.779.077</b>

## 10 ORGANIGRAMA.

Tabla 43. Organigrama de actividades

ACTIVIDADES	ENERO/SEMANA				FEBRERO/SEMANA				MARZO/SEMANA				ABRIL/SEMANA			
Preliminares	X	X	X	X												
Cerramiento			X	X	X	X										
Descapote y movimiento de residuos				X												
Cobertura final capa control de infiltración					X	X	X	X								
Cobertura final capa de control de erosión									X	X						
Instalación chimeneas para extracción de gases											X	X	X			
Construcción Piezómetros dobles para monitoreo aguas subterráneas											X					
Empradizacion zona de residuos													X	X		
Cerramiento del vertedero con cerca viva de limón swinglia													X	X		
Movimiento de tierra para nivelación del suelo para plantación y perforación de lagunas									X	X	X					
Plantación con especies nativas de la orinoquia													X	X	X	X

## 11 CONCLUSIONES

Los muestreos de aguas se realizaron en la época denominada como invierno en la región, ejecutándose el primer muestreo en julio el mes mas lluvioso del año(249 mm) y el ultimo en el mes de octubre, con una precipitación de 99 mm, donde el nivel de las aguas es bastante reducido.

El presente diagnostico preliminar establece que el impacto producido por el vertedero de residuos sólidos del municipio de Arauca sobre la calidad de las aguas subterráneas de su área de influencia directa, es de proporción media, considerando los resultados de DBO, DQO, coliformes totales, coliformes fecales y recuento de aerobios mesófilos encontrados en los análisis realizados a las aguas a diferentes distancias y profundidades de la zona de máximo deposito de residuos.

La contaminación se presenta de manera puntual en un espacio de 100 metros hacia el norte y el occidente del espacio de mayor disposición de residuos, en una profundidad máxima de 30 metros. Si bien en el país no se encuentra reglamentado el valor de DBO, que pueda considerarse como normal en aguas naturales, si esta claro que en aguas para consumo humano la DBO debe ser de 0, ratificado por el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento básico – RAS, que especifica que un agua con una DBO mayor a 4mg/l o<sub>2</sub> es muy deficiente para ser usada como fuente de agua para potabilización.

La mayoría de índices de Calidad de Agua, dan mucha importancia a la DBO y a los coliformes totales como indicadores de contaminación orgánica de las aguas, resaltando que estos índices generalmente son diseñados para evaluar aguas para el consumo humano, sin embargo las aguas naturales también son susceptibles de considerarse degradadas cuando los valores de estos parámetros alcanzan niveles elevados, en el caso específico del área de estudio se tiene que el mayor valor de DBO encontrado está muy por debajo de los rangos mínimos de aguas servidas. La DBO alcanza un valor máximo de 85 mg/l O<sub>2</sub> en el pozo ubicado sobre el área de mayor disposición de residuos dentro del vertedero en la época de menor precipitación, debido posiblemente a la poca profundidad del mismo (12 metros) y a la poca dilución de los contaminantes por las grandes cantidades de aguas lluvias y de inundación que caen sobre el vertedero en la época de invierno.

En el pozo # 6 ubicado en una finca a 50 metros del vertedero al occidente el valor de la DBO es de 3 a pesar de estar muy cerca, pero su profundidad es de 32 metros, también en el pozo # 5 ubicado 300 metros del vertedero se encontró una DBO mínima de 4 y máxima de 7, demostrando que la contaminación obedece a dos variables la distancia a la zona de mayor concentración de residuos y la profundidad del acuífero.

El análisis microbiológico de las aguas subterráneas arroja valores muy altos de coliformes totales, recuento de aerobios mesófilos y coliformes fecales, ubicándolas inmediatamente como aguas no aptas para el consumo humano, ni para el uso en agricultura, el alto grado de este tipo de contaminación obedece al tipo de residuos y a la constante presencia de animales como cerdos y bovinos que depositan allí sus excrementos.

Los análisis de lixiviados demuestran que las concentraciones de contaminantes inorgánicos en los residuos sólidos del municipio de Arauca se encuentran por debajo del promedio típico en vertederos, debido a la naturaleza de los residuos, que en su mayoría son procedentes de viviendas e instituciones donde no se manipulan químicos. Lo anterior reafirma los resultados negativos de los análisis de cadmio, mercurio y plomo realizados en el pozo ubicado sobre el vertedero.

Los resultados de los análisis de fenoles, nitratos y nitritos, se encuentran muy por debajo de los límites permitidos por el decreto 475 para agua segura, 1594 para uso en agricultura y aun para aguas naturales, evidenciando nuevamente la naturaleza orgánica de la contaminación de estas aguas subterráneas.

Considerando el volumen de residuos depositados en el vertedero (129.656 toneladas) la producción de lixiviados producidos durante su vida útil es bastante elevada, sin embargo las concentraciones de contaminantes orgánicos en las aguas subterráneas son relativamente bajas, debido a la naturaleza del suelo debajo del vertedero conformado por 4 estratos de 1, 0.80, 0.20 y 3 metros respectivamente de profundidad, hasta el nivel freático, de arcillas cl, según la clasificación de la USC y a-6 según la ASSHO, con plasticidad de media a alta, muy poco contenido de limos y muy impermeables, siendo esta última condición un gran limitante para el paso de los contaminantes. Las características físico químicas de las aguas tanto subterráneas como superficiales se encuentran entre los límites normales, y son extraños los bajos valores de nitratos y nitritos en las aguas superficiales no.1 correspondientes al estero frente al vertedero que presentan mucha eutrofización y está ubicado en zona de potreros.

Los resultados de los análisis de las aguas superficiales medidos en el caño Jesús aguas arriba y aguas abajo, de su paso por el vertedero no presentan variaciones significativas, al igual que el análisis de zooplancton, aunque este en las dos estaciones presenta una especie mas en el muestreo aguas arriba, este resultado no es determinante para establecer la incidencia del vertedero en su degradación, también debe resaltarse la distancia de 361 metros del vertedero al caño, que posiblemente permita el deposito de los lixiviados en la escorrentía superficial en la zona circundante antes de llegar al el.

El levantamiento topográfico presenta un terreno natural bastante bajo con inundaciones periódicas producidas por el río Arauca que alimenta los caños del área y por la precipitación, el área dentro del vertedero presenta una altura máxima de dos metros con respecto a la cota mínima del terreno natural fuera del mismo, las acumulaciones de basura no son homogéneas aunque si se concentran de la mitad hacia el sur del lugar.

Para la recuperación paisajística del lugar se propone la acumulación de basuras en aproximadamente 4 hectáreas, cubrirla con arcillas compactada en 0.45 metros y 0, 25 metros con horizonte orgánico, dejando las 5,2 hectáreas al norte para una plantación con especies arbóreas propias de la región, que pueda usarse como sitio de esparcimiento pasivo y como herramienta educativa, conservadora y difusora del germoplasma.

## **12 RECOMENDACIONES**

Debe realizarse una evaluación de las aguas subterráneas en los meses de enero a marzo con el fin de obtener datos de todas las épocas, igualmente el número de muestreos debe aumentarse para obtener series estadísticas significativas que respalden los resultados para poder realizar conclusiones determinativas.

Siguiendo las recomendaciones del Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS- al igual que las de la literatura sobre el tema, se tiene que los costos de recuperación de zonas de vertederos al aire libre son muy altos y difíciles de costear por la mayoría de Municipios del país, por consiguiente es necesario hacer un replanteamiento sobre estos requerimientos para que la ingeniería ambiental armonice con la realidad financiera nacional.

## BIBLIOGRAFIA

AUGE, M. Deterioro de acuíferos por sobreexplotación y contaminación . In: Congreso Internacional sobre Aguas, conferencia Plenaria. Ed. Universidad de Buenos Aires Argentina, 1997.

BAUDER, J W., SINCLAIR, K.N. and LUNO, RE. Physiographic and land use characteristics associated with nitrate-nitrogen in Montana groundwater. J. Environ.Qual, 1993, pag 22.25-262.

BRYSON, D.D. and. BOECKMAN, OC.1. water web methemoglobinemia and water with less than 226 mg NO<sub>3</sub>N/L In: Preprinte 197<sup>th</sup> American Chemical society National meeting. Vol 29(1):18-19. DALLAS. TEXAS, USA, 1998.

BURGL, Hans.: Historia Geológica de Colombia, Revista de la Academia Colombiana de ciencias Exactas, Físicas y naturales, Vol. II. No. 43. Bogotá Colombia, Editorial Voluntad, 1961.

CANTER, L.W. : Manual de Evaluación del Impacto Ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. 2da. Edición. Editorial McGraw - Hill Interamericana de España, 1998.

CAROPRESSE Q, Luís. : Arauca Fuerza y futuro del País. Bogotá Colombia: Editorial Retina. 1988. Pag 64, 65.

CHAPMAN, D. Water quality assessment: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. E & FN SPON. 11 New fetter Lane, London EC4P 4EE. 1998.

CONVENIO SENA MINAMBIENTE: Manual técnico para el manejo integral de cuencas hidrográficas. Impresión Publicaciones SENA Digeneral. Colombia Bogotá. 1997.

D, LETTERMAN, Raymund: CALIDAD Y TRATAMIENTO DE AGUA, Manual de Suministro de Agua Comunitaria: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, Editorial Mc Graw Hill Interamericana, Primera Edición, España 2002.

DANE-Departamento Administrativo Nacional de Estadística, XVI Censo Nacional de población. Bogotá, 1993.

DRURY, CF.;TAN, CS.;GAYNOR, J D.; OLOYA, T.O. and WELACKY T.W. Influence of controlled drainage subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss.J. Environ .Qual, 1996, pag 25, 317, 324.

GOSSEN, D. Physiography and soils of the Llanos orientales de Colombia, informe de progreso Tesis de grado Universidad de Amsterdam en: características Geográficas Arauca. Santa fe de Bogotá. IGAC 1991. Pag 31.

GARAVITO H. Freddy, García B. Enrique, Castro L. Francisco, Borbón G., Isabel. Árboles del Arauca. Gobernación de Arauca. 2001.

HADAD, José Felicio: Programa de regional de Mejoramiento de los servicios de de aseo urbano. Modulo de disposición final de residuos sólidos.

HUNTER, C.; PERKINS, J.;TRANTERS,J. And HARDWICK, P: Fecal bacteria in the water of and upland area in procedings of agricultural research to protect water quality. Soil and water conservation society, Ankeny,IA, 2000.

IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi: Diagnóstico Geográfico Orinoquía Colombiana, Editorial Andes, 1985.

J.U. SMITH.; BRANDBURY, N .J.; ADISCOTT, T:M: 1996SUNDIAL :APC-based system for simulating nitrogen dynamics in arable land.Anron.J.88:38-43.

LUCEY. K,J. and GOOLSBY, E Efect of climatic variations over 11 years on nitrate-nitrogen concentrations in the raccoon river, Iowa. J. Environ.Qual, 1993. pag: 22, 38, 46.

LERMA, Héctor Daniel: Metodología de la investigación. Ecoe ediciones. Segunda edición. Santa Fe de Bogotá. 2001.

MÁRQUEZ CÁRDENAS, Gabriel: Propiedades Ingenieriles de los suelos . Universidad nacional de Colombia, Seccional Medellín. 1987.

MICHAUD, Jery P. Eurovisión – Environmental Consulting Service-Olynpia-Washington, 2001.

MONSALBE SAENZ, German: Hidrologia en la ingeniería, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Segunda Edición, Santa fe de Bogotá.

NAVAS, Jaime. Campo de Arauca, ponencia III Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en las Cuencas Sub-Andinas, Agosto, 1985, Bogotá, INTERCOL, pag: 13-16.

NOLAN; B.T. 1999 Nitrate behavior in groundwater of the southeastern USA, Reston. J. Environ. Qual . 28 : 1518-1527.

NORTH CAROLINE STATE UNIVERSITY- NCSU. Water quality; Department of Biological and agricultural Engineering. Water, Soil and Hydro- Environmental Decisión Sippot System, 2001.

ONGLEY, E.D. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Estudio FAO riego y drenaje, Roma Italia, 1997.

OPS/EUP/CEPIS. 1981. <http://www.metabase.net/docs/opamss/00407.html>

PEREZ PARRA, Jorge Arturo: Manual de potabilizacion del agua. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de ingeniería civil. Medellín.

PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL del Municipio de Arauca, Componente General, 2000: pag 23.

Proyecto cepis/gtz, Fortalecimiento Técnico de Cantidad y Contenidos de Lixiviados de Rellenos de Desechos Domésticos, autor: dr. Ing. Hans-jürgen ehrig, cepis.1992

RODRIGUEZ G. Pedro Ignacio. Fundamentos de silvicultura. Universidad Santo Tomás. Bogota. 1987.

RODRÍGUEZ N. Cesar O. Hidrogeología básica. En: Diseño de Redes de Monitoreo de Acuíferos. XXI Curso Internacional de aguas subterráneas. Bogotá, agosto 10-21 1998.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto: ACUIQUIMICA, Escuela Colombiana de Ingeniería, Santafé de Bogotá, Primera Edición, 1996.

S.A.U.SAWYER, Clair N; Perry Mc Carty. Chemistry for Environmental Engineering. 3th Edition. Mc Graw-Hill Publishing Company, 1978.

SAZON, A. La alimentación del hombre del mañana UNESCO Reverté S.A, 1993.

STIEGLER, L.; LANG R.J., y TCHOBANOGLOUS, G.: “ Movement of Gases in Municipal Solid Waste Landfills: Appendix B Study of the Sorption of Trace Gases Found in Municipal Solid Waste Landfills”, Preparado Para California Waste Management Board, Department of Civil Engineering, University of California – Davis, CA, febrero 1989.

TEBBUTT T.H.Y.: Fundamentos de control de la calidad del agua. Departamento de ingeniería civil, Universidad de Birmingham. Editorial Limusa. Noriega Editores. México 2001. 8° reimpresión.

TCHOBANOGLOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel A. GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS, Editorial, Mc Graw Hill, España, 1998.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTETION AGENCY.1986.Ambient water quality crietria for bacteria-1986 EPA/440/5-84-002.USEPA, office of Water Regulation and Standards. Washinton.,DC, USA.