

**REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO  
BAJO LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA**

**CARMEN ADRIANA GARCÍA RUEDA  
VANESSA DEL PILAR QUINTERO MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA, SANTANDER**

**2011**

**REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO  
BAJO LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA**

**CARMEN ADRIANA GARCÍA RUEDA  
VANESSA DEL PILAR QUINTERO MUÑOZ**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR**

**HEBENLY CELIS LEGUIZAMO**

**Ingeniera Civil, M. Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MECANICAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2011**

Bucaramanga, Julio de 2011

Logrando nuestras metas alcanzadas, forjadas por un camino largo y lleno tanto de tropiezos como de satisfacciones por sueños cumplidos inspirados por nuestros padres Lilia Esther Rueda, Nereyda Muñoz, Carlos Julio García, Néstor Quintero, además de nuestras familias y amigos que aportaron un granito de arena e hicieron posible el desarrollo de uno de los retos más grandes de nuestras vidas el SER PROFESIONAL, sintiéndonos orgullosas de nuestro desempeño.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios que ha sido nuestra guía y uno de los más grandes motores junto con nuestras familias, y a las personas que puso en nuestro camino para el desarrollo de nuestro proyecto.

Al Ingeniero Ludwing Aparicio Jefe de Operación y Mantenimiento del Relleno Sanitario el Carrasco de Bucaramanga, quien nos guió en el transcurso de la ejecución del proyecto. Y en general a todos los colaboradores de la CDMB, desde secretarias hasta ingenieros.

A Jhon Freddy Domínguez por el suministro de información, a Malory Quintero por hacer cada día más fácil y llevadero, a todos nuestros amigos y seres queridos que nos apoyaron incondicionalmente en el proceso de convertirnos en Ingenieras Civiles.

A nuestros padres por su presencia y constancia, por el apoyo que nos han brindado durante los años vividos en la universidad los cuales no hubieran sido posibles sin ellos, por el ejemplo, y las enseñanzas que diariamente recibimos para ser mejores personas y ahora mejores profesionales.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>25</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
1.2. ALCANCE .....	29
1.3. OBJETIVOS .....	30
1.4. GENERALIDADES.....	31
1.4.1. Relleno Sanitario .....	31
1.4.2. Composición de las Basuras .....	32
1.4.3. Aspectos Demográficos.....	33
<b>2. PAUTAS TÉCNICAS Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN RELLENOS .....</b>	<b>34</b>
2.1. EXPERIENCIAS.....	34
2.1.1. Perú.....	34
2.1.2. Ecuador .....	38
2.1.3. Chile .....	40
2.2. PAUTAS TÉCNICAS.....	43
2.2.1. Perú.....	43
2.2.2. Ecuador .....	46
2.2.3. Chile .....	47
2.3. ANÁLISIS DE LAS PROBLEMÁTICAS .....	50
<b>3. NORMAS TÉCNICAS Y EXPERIENCIAS EN COLOMBIA.....</b>	<b>52</b>
3.1. REGLAMENTACIÓN VIGENTE.....	52
3.1.1. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Metropolitano (PGIRS) ..	53
3.1.2. Plan de Ordenamiento Territorial Girón (POT) .....	55
3.1.3. Licencia Ambiental .....	56

3.1.4.	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000).....	57
3.1.5.	Decreto 838 de 2005.....	57
3.1.6.	Normatividad expedida sobre la materia por la unidad administrativa especial de la aeronáutica civil.....	58
3.1.7.	Reglamento Operativo.....	59
3.2.	EXPERIENCIAS NACIONALES.....	60
3.2.1.	Bogotá.....	60
3.2.2.	Medellín.....	63
3.2.3.	Bucaramanga.....	66
<b>4.</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE UN RELLENO SANITARIO.....</b>	<b>67</b>
4.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	67
4.1.1.	Producción Per Cápita (cantidad basura/habitante).....	67
4.1.2.	Peso Específico.....	68
4.1.3.	Parámetros Técnicos de Selección de un Relleno Sanitario.....	70
4.1.4.	Asentamientos.....	76
4.2.	CONSTRUCCIÓN.....	77
4.2.1.	Tipos de Relleno Sanitario.....	77
4.2.2.	Métodos de Construcción de un Relleno Sanitario.....	78
4.2.2.1.	Método de Trinchera.....	78
4.2.2.2.	Método de Área.....	79
4.2.2.3.	Método Rampa.....	81
4.2.2.4.	Método Combinado de Área y Rampa.....	82
4.2.3.	Especificaciones del Proceso Constructivo.....	83
4.3.	OPERACIÓN.....	85
4.3.1.	Bases Fundamentales de un Relleno Sanitario.....	85
4.3.2.	Consecuencias Generadas por el Relleno Sanitario.....	86

4.4. DIAGRAMA GENERAL DE UN PROCESO PARA LA CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO.....	89
<b>5. POSIBLES SOLUCIONES.....</b>	<b>90</b>
5.1. RECOMENDACIONES GENERALES .....	90
5.2. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS .....	91
<b>6. REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO “EL CARRASCO” .....</b>	<b>93</b>
6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL .....	93
6.1.1. Ubicación Geográfica .....	93
6.1.2. Conformación del Relleno .....	94
6.1.3. Topográfica.....	94
6.1.4. Geológica .....	95
6.1.5. Composición Climatológica .....	98
6.1.6. Velocidad del Viento y Dirección del Viento .....	99
6.1.7. Afectaciones.....	100
6.2. ESTUDIOS DE DISEÑO .....	100
6.2.1. Producción Per Cápita.....	100
6.2.2. Propiedades del Suelo .....	101
6.2.3. Propiedades Climatológicas Actuales .....	104
6.2.4. Composición de la basura .....	107
6.3. CONSTRUCCIÓN.....	110
6.3.1. Acondicionamiento del Terreno.....	110
6.3.2. Instrumentos y Herramientas de Medición .....	111
6.3.3. Preparación de las Celdas.....	115
6.4. OPERACIÓN.....	117
6.4.1. Especificaciones del Equipo .....	117
6.4.2. Caseta de Pesaje y Báscula.....	118
6.4.3. Playa de Descargue .....	122

6.4.4.	Frente de Trabajo .....	122
6.4.5.	Reglamento Interno de Trabajo .....	124
6.4.6.	Planta de Lixiviados.....	125
6.4.7.	Tratamiento de Gases .....	133
6.4.8.	Produccion de Compostaje.....	137
6.4.9.	Control de Erosión.....	138
6.5.	PARÁMETROS DE DISEÑO BAJO LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA	139
6.6.	ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN ORIGINADA POR EL RELLENO SANITARIO A LA CIUDAD DE BUCARAMANGA. ....	155
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>158</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>160</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Contenido Titulo F, RAS – 2000 .....	57
<b>Tabla 2.</b> Peso Específico de Residuos en Diferentes Etapas .....	69
<b>Tabla 3.</b> Coeficiente de Permeabilidad (k), Escala Logarítmica. ....	73
<b>Tabla 4.</b> Pasos Necesarios para Diseño, Construcción y Operación. ....	84
<b>Tabla 5.</b> Producción Per Cápita .....	101
<b>Tabla 6.</b> Valores de Penetración Estándar. ....	101
<b>Tabla 7.</b> Coeficientes de Permeabilidad en campo y laboratorio .....	102
<b>Tabla 8.</b> Secciones Análisis de Taludes .....	103
<b>Tabla 9.</b> Datos Climatológicos Estación Palonegro .....	104
<b>Tabla 10.</b> Datos Climatológicos Estación PTAR.....	105
<b>Tabla 11.</b> Composición física consolidada de residuos sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga .....	107
<b>Tabla 12.</b> Composición química de los residuos sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga .....	108
<b>Tabla 13.</b> Capacidad del Relleno .....	109
<b>Tabla 14.</b> Capacidad de Cobertura .....	109
<b>Tabla 15.</b> Batería de Piezómetros .....	112
<b>Tabla 16.</b> Peso de Residuos Sólidos por Municipio 2010.....	120
<b>Tabla 17.</b> Peso de Residuos Sólidos por Municipio 2011.....	120
<b>Tabla 18.</b> Frente de Trabajo .....	123
<b>Tabla 19.</b> Volumen Trata de Lixiviados en la PTLX del Carrasco.....	129
<b>Tabla 20.</b> Porcentaje de Remoción PLTX .....	130
<b>Tabla 21.</b> Tipo de caracterización física, química y biológica de los residuos sólido.....	142
<b>Tabla 22.</b> Monitoreos Adicionales a los exigidos. ....	143
<b>Tabla 23.</b> Monitoreos Ambientales Exigidos.....	144
<b>Tabla 24.</b> Obras Complementarias.....	153

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proyección de Residuos.....	54
<b>Figura 2.</b> Condiciones Climatologicas e Hidrologicas Favorables. ....	72
<b>Figura 3.</b> Método Trinchera. ....	78
<b>Figura 4.</b> Método de Área.....	80
<b>Figura 5.</b> Método de Área.....	81
<b>Figura 6.</b> Método de Rampa.....	81
<b>Figura 7.</b> Método Combinado de Área y Rampa. ....	82
<b>Figura 8.</b> Método Combinado de Área y Rampa. Relleno Sanitario El Carrasco..	82
<b>Figura 9.</b> Método Combinación de Área y Rampa. Relleno Sanitario El Carrasco.....	83
<b>Figura 10.</b> Ubicación Geográfica. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	93
<b>Figura 11.</b> Precipitación Media Mensual .....	105
<b>Figura 12.</b> Temperatura Media Mensual. ....	106
<b>Figura 13.</b> Báscula. Relleno Sanitario El Carrasco.....	119
<b>Figura 14.</b> Caseta de Pesaje. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	119
<b>Figura 15.</b> Gráfico de Peso en relación con cada Municipio 2010.....	121
<b>Figura 16.</b> Gráfico de Peso en relación con cada Municipio 2011.....	121
<b>Figura 17.</b> Vertimiento de Lixiviados. Relleno Sanitario El Carrasco.....	128
<b>Figura 18.</b> Planta de Tratamiento de Lixiviados. Relleno Sanitario El Carrasco. 128	
<b>Figura 19.</b> Nueva Planta de Tratamiento de Lixiviado. Relleno Sanitario El Carrasco.....	129
<b>Figura 20.</b> Porcentaje de Remoción PLTX. ....	130
<b>Figura 21.</b> Piscina de lixiviado. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	131
<b>Figura 22.</b> Muro de Gaviones. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	132
<b>Figura 23.</b> Chimenea. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	134

<b>Figura 24.</b> Planta de Tratamiento de Gases y Chimenea. Relleno Sanitario El Carrasco.....	135
<b>Figura 25.</b> Planta de Compostaje. Relleno Sanitario El Carrasco. ....	137
<b>Figura 26.</b> Área de Influencia de la Población. El Carrasco, Bucaramanga. ....	146
<b>Figura 27.</b> Área de Influencia sobre Aeródromos. El Carrasco, Bucaramanga.	147
<b>Figura 28.</b> Área de Influencia de Fuentes Hídricas Superficiales. El Carrasco, Bucaramanga.....	148

## GLOSARIO

**BÁSCULA.** Es un aparato que sirve para pesar; esto es, para determinar el peso (básculas con muelle elástico), o la masa de los cuerpos (básculas con contrapeso). El dato del peso de la báscula además de servir para cobrar el servicio de disposición final, proporciona información muy importante para conocer la vida útil del relleno sanitario, las necesidades de material de cobertura, de personal y de maquinaria y aproximaciones de las cantidades de gases y lixiviados que se producen.

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS.** Determinar los atributos peculiares de los residuos sólidos, de modo que claramente se distingan de los demás en cuanto a propiedades y contenidos.

**CASETA DE REGISTRO.** Ubicada a la entrada del relleno, tiene como función principal operar los controles de entrada de basura y ser el lugar donde se guarda inicialmente la “memoria del relleno sanitario”.

**CELDA DIARIA.** Se define como la unidad básica de construcción del relleno sanitario y está constituida por la cantidad de basura que se entierra en un día y por la tierra necesaria para cubrirla.

**CERRAMIENTO O CERCO PERIMETRAL.** Cerco que indica los límites de la propiedad y controla la entrada de personas y animales que dañan los trabajos que se realizan en el sitio.

**CHIMENEA O CÁMARA DE ELIMINACIÓN.** Es el sistema definido para excavar técnicamente fuera del relleno el gas que se genera en los distintos niveles, producto del proceso de descomposición anaeróbica de las basuras.

**COBERTURA DIARIA.** Capa de tierra compactada de al menos 15 cm de espesor o capa de material alternativo debidamente autorizado con que se cubre la totalidad de los residuos dispuestos durante un día de operación en un relleno sanitario y que tiene como objetivos evitar el contacto de los residuos con el medio ambiente, alcanzar y mantener condiciones anaeróbicas en las celdas sanitarias, controlar la proliferación de vectores sanitarios, el biogás, la emanación de olores ofensivos, los riesgos de incendio y el ingreso de aguas lluvias al y su consecuente generación de lixiviados.

**COBERTURA FINAL.** Sello que es colocado sobre la superficie final de un relleno sanitario de forma de garantizar en el largo plazo el control de la emisión de gases a la atmósfera, la erosión, el contacto de los residuos con el medio ambiente y la infiltración de agua y la consecuente generación de lixiviados.

**COMPACTACIÓN.** Reducción del volumen de los residuos sólidos, con el consecuente aumento de su densidad, a través de procesos físicos tales como el aplanamiento o aplastamiento, la que puede ser resultado del tránsito deliberado de maquinaria pesada sobre la basura, del apisonamiento con equipamiento manual o de la compresión que resulta de la acción del propio peso de los residuos.

**CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.** Tasa de descarga de agua a través de una unidad de área de un medio poroso sometido a una unidad de gradiente hidráulico en condiciones de temperatura estándar (20° C).

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS.** Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO).** La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ). Aunque este método pretende medir principalmente la concentración de materia orgánica, sufre interferencias por la presencia de sustancias inorgánicas susceptibles de ser oxidadas que también se reflejan en la medida.

**DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO).** Es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidadada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ( $\text{mgO}_2/\text{l}$ ).

**ESCORRENTÍA.** Movimiento del agua en el suelo, como resultado de la gravedad. En un suelo sin vegetación la escorrentía puede dar lugar a fenómenos erosivos.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN.** Conjunto de evaporación y transpiración, siendo esta última la evaporación debido a la acción biológica de los vegetales.

**EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP).** Se denomina ETP a la cantidad de agua que se evapora y transpira de un suelo cubierto de vegetación y sin ningún déficit de agua.

**FRENTE DE TRABAJO.** Sitio en el relleno sanitario donde se realizan los procesos de descargue, acomodación, compactación y cobertura de los residuos sólidos entregados para disposición final.

**INFILTRACIÓN.** Penetración del agua en el suelo por grietas y poros. También, las corrientes descendentes de las aguas subterráneas.

**LIXIVIADO.** Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

**MATERIAL DE COBERTURA.** Material que es apto para el cubrimiento de las distintas capas de residuos en un vertedero a fin de evitar y prevenir el vuelo de plásticos y papeles, insectos, roedores, incendios, molestias visuales, polvo, mal olor y suciedad.

**MONITOREO DE AIRE.** Sistema de observaciones ambientales sobre los cambios del ambiente natural y de la atmósfera debidos a la actividad del hombre. Sirve como fuente fundamental de información uni o multidisciplinaria sobre el estado actual del entorno.

**NIVEL FREÁTICO.** Corresponde (en un acuífero libre) al lugar en el que se encuentra el agua subterránea. En éste nivel la presión de agua del acuífero es

igual a la presión atmosférica. También se conoce como capa freática, manto freático, napa freática, napa subterránea, tabla de agua o simplemente freático.

**PERCOLACIÓN.** En física, química y ciencia de los materiales, se refiere al paso lento de las aguas a través de los materiales porosos, un ejemplo de este proceso es la filtración. Así se originan las corrientes subterráneas.

**PERMEABILIDAD.** Es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es *permeable* si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e *impermeable* si la cantidad de fluido es despreciable.

**PH.** Concentración del ión hidrógeno en el agua. Se expresa la concentración de este ión como pH, y se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ión hidrógeno.

**PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.** Es el conjunto detallado de actividades, que producto de una evaluación ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir o compensar los impactos y efectos ambientales que se causen por el desarrollo de un proyecto, obra o actividad. Incluye los planes de seguimiento, monitoreo, contingencia, y abandono según la naturaleza del proyecto, obra o actividad.

**PLAYA DE DESCARGUE.** Es el área de trabajo donde el carro de basura llega del área de entrada, entra a la playa de descargue y gira 180° para descargar en reversa.

**PLANES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT).** Es el instrumento básico para desarrollar el proceso de ordenamiento del territorio municipal. Se define

como un conjunto de acciones político-administrativas y planificación concertada. De 0 a 30.000 habitantes se hace un esquema de ordenamiento, de 30.000 a 100.000, se hace un plan básico de ordenamiento territorial y de 100.000 habitantes en adelante se hace un plan de ordenamiento territorial.

**RECICLAJE.** Es un proceso fisicoquímico o mecánico que consiste en someter a una materia o un producto ya utilizado a un ciclo de tratamiento total o parcial para obtener una materia prima o un nuevo producto. También se podría definir como la obtención de materias primas a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en el ciclo de vida y se produce ante la perspectiva del agotamiento de recursos naturales, macro económico y para eliminar de forma eficaz los desechos.

**REGLAMENTO OPERATIVO DE LOS RELLENOS SANITARIOS.** Corresponde al compendio de requisitos, procedimientos y acciones internas de operación y funcionamiento, aplicable al personal del operador y a las personas contratantes del acceso a cada relleno sanitario.

**RESIDUO.** Material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos, aquellos provenientes del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles.

**SEDIMENTACIÓN.** Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin. Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión. El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado

se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado.

**SISTEMA VIAL.** Este sistema está compuesto por las vías principales, secundarias y temporales.

**VALLA DE INFORMACIÓN.** La cual debe contener el nombre del municipio, el nombre de la empresa que presta el servicio y su identificación, el nombre del relleno sanitario y alguna identificación propia como “Aquí trabajamos con la limpieza”, se prohíbe la entrada de animales”, entre otras.

**VÍA PRINCIPAL.** Tienen especificaciones como vías permanentes durante la vida del relleno sanitario.

**VÍA SECUNDARIA.** Sirven para periodos determinados.

**VÍAS TEMPORALES.** Se usan para llegar al frente de trabajo. Pueden incluso desaparecer en la medida en que el relleno sanitario avance.

**ZONA DE FALLA.** Zona donde se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultados de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre.

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO BAJO LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA.\*

### **AUTOR (ES):**

CARMEN ADRIANA GARCÍA RUEDA  
VANESSA DEL PILAR QUINTERO MUÑOZ\*\*

### **PALABRAS CLAVES:**

RELLENO SANITARIO, NORMAS TÉCNICAS, IMPACTO AMBIENTAL, DESECHOS SÓLIDOS.

### **DESCRIPCIÓN:**

El relleno sanitario es una obra de ingeniería realizada con el objeto de minimizar el impacto ambiental que se genera de la disposición de los desechos sólidos y como solución a la aparición inevitable de residuos, por lo que esta obra requiere un diseño controlado y supervisado en su ejecución y operación, por ello se pretende realizar un seguimiento de procesos a seguir, bajo el aval de las normas técnicas colombianas al relleno sanitario de Bucaramanga y su área metropolitana en este caso El Carrasco, esta revisión nos permitirá evaluar las condiciones del terreno del depósito de basuras.

Con base en lo anterior se procedió a la búsqueda de normas técnicas que rijan el diseño y operación, así como diferentes eventos que impiden la ejecución estable de los rellenos en el país con considerables asentamientos humanos como Bogotá y Medellín, al igual que otros países con normativas y experiencias en aporte de soluciones a presentarse en nuestro país o la prevención de problemáticas que se han desarrollado, posteriormente efectuando visitas consecutivas al Carrasco evidenciando el proceso operativo del relleno.

Los análisis de esta revisión ayudan en la proyección del nuevo relleno sanitario de Bucaramanga y área metropolitana para una mitigación de problemáticas a presentarse en dicho sitio y en pro del cumplimiento de todas las normas técnicas, siendo más eficientes y eficaces en su etapa de operación y clausura, así como diferentes planes de disminución y aprovechamiento de residuos para minimizar las basuras y aumentar la vida útil del sitio de disposición.

---

\* Proyecto de grado.

\*\*Facultad de Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería civil. Director Ing. Hebenly Celis L.

## ABSTRACT

**TITTLE:**

REVIEW OF PROCESS DESIGN OF A LANDFILL IN COLOMBIAN LAW\*.

**AUTHORS:**

CARMEN ADRIANA GARCÍA RUEDA  
VANESSA DEL PILAR QUINTERO MUÑOZ\*\*

**KEYD WORDS:**

LANDFILL, TECHNICAL STANDARDS, ENVIRONMENTAL IMPACT, SOLID WASTE.

**DESCRIPTION:**

The landfill is a work of engineering done in order to minimize the environmental impact that is generated from the disposal of solid waste and as a solution to the inevitable appearance of waste, so this work requires a controlled design and supervised its implementation and operation, it is to track processes to follow, under the support of the Colombian technical standards to landfill Bucaramanga and its metropolitan area in this case the Carrasco, this review will enable us to assess the ground conditions of the deposit of waste.

Based on the above, proceeded to search for technical standards governing the design and operation, and different events that impede the stable execution of landfills in the country with considerable human settlements such as Bogotá and Medellín, like other countries experience in regulation and provision of solutions to present themselves in our country or the prevention of problems that have developed later proceed to Carrasco consecutive visits showing the operating process of the filling.

The analysis in this review helps in the screening of the new landfill in Bucaramanga and its metropolitan area for mitigation of problems to occur in that site and towards the fulfillment of all technical standards, being more efficient and effective in operation stage and closure, as well as various plans making use of waste reduction and to minimize waste and increase the life of the disposal site.

---

\* Thesis Project.

\*\*Faculty of Physic - Mechanic. School of Civil Engineering. DirectressIng.Hebenly Celis

## 1. INTRODUCCIÓN

Cada día el problema de las basuras es un tema preocupante ya que es inevitable que las personas generemos residuos además de los índices de aumento de población y como resultado el ascenso de basuras y la reducción de espacios adecuados para su depósito, cada vez se encuentran más restringidos y las condiciones son menos flexibles a limitaciones como exigencias solicitadas. Revisando las pautas y condiciones con las que debe regirse según las reglas y normatividades existentes se deben considerar convenientes para la mejoría del proceso, operación, mantenimiento y control de la ubicación del esparcido y compactación de las basuras, además del semejante tipo de suelo al existente en El Carrasco.

Lo que se pretende con lo anterior es generar una revisión de cumplimiento técnico en el proceso de diseño, construcción y operación de un relleno a lo largo del proyecto buscando un mejoramiento en la disposición y mitigación de los diferentes impactos generados al medio ambiente como consecuencia de este proceso haciendo cumplimiento de las normas existentes y teniendo como soporte diferentes experiencias tanto nacionales como internacionales, para evitar que estos inconvenientes se generen en lapsos de tiempos más cortos.

Esta revisión se encuentra en función de variables geotécnicas, geológicas, hidrológicas y ambientales, identificando estas variables se corresponde a explorar el cumplimiento de cada campo y cuan viables han sido las disposiciones tomadas frente a la problemática de residuos sólidos no solo en su disposición sino también en su transporte y clausura del depósito.

No todos los desechos deben ser depositados, se debe prever de un factor determinístico como lo es la acción reciclaje, este factor me permite no solo ser más amigable con el medio ambiente si no también me proporciona un incremento en la vida útil del relleno sanitario, identificando medidas de refuerzo para la duración del depósito, base primordial para un desarrollo sostenible.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El manejo de los desechos sólidos se resume a un ciclo que comienza con su generación y acumulación temporal, continuando con su recolección, transporte y transferencia y termina con la acumulación final de los mismos. El relleno sanitario es la forma más difundida mundialmente para realizar la disposición final de residuos sólidos urbanos. Es una obra de ingeniería realizada con el objetivo de minimizar los posibles impactos negativos de la deposición de los desechos sobre el medio ambiente el cual tiene una magnitud significativa pues la flora y fauna se ven afectadas por malos olores y por el deficiente manejo que se les brinda; para ello deben considerarse estudios hídrico y geotécnico del sector, debido a que las principales problemáticas señaladas en un relleno son la contaminación de aguas subterráneas aledañas al terreno por causa de los lixiviados, la contaminación del aire propagado por los gases expulsados y en últimas a la precipitación de basuras cuando no se prevé una nueva ubicación para su reemplazo tanto por el aumento de población como de desechos. En definitiva la producción y aparición de los residuos sólidos urbanos es totalmente inevitable. Como resultado los desechos sólidos están para ser tratados por un sistema de recolección y disposición final regido bajo las condiciones específicas para un relleno sanitario expedidas por la corporación CDMB que deben seguirse paso a paso para que así el funcionamiento durante todo el tiempo de vida útil sea óptimo proporcionándonos a todos una mejor calidad de vida, la cual vemos reflejada en la naturaleza.

Todos los rellenos sanitarios han presentado los mismos problemas desde sus inicios. En las principales capitales colombianas poco a poco se generan diversos tipos de problemáticas que se solucionan casi siempre cuando se están causando complicaciones severas y ajenas a las propias locaciones, así mismo las personas que residen en barrios aledaños al relleno sufren consecuencias considerables que repercuten en su vida diaria.

“EL CARRASCO” es la actual disposición de residuos no sólo del área metropolitana de Bucaramanga, sino también de municipios aledaños, que en orden de densidad poblacional son: Lebrija, Rionegro, El Playón, Charta, Cáchira y Suratá. El relleno se encuentra en funcionamiento desde 1978. La cantidad promedio dispuesta en el día es de 750 toneladas, aproximadamente 23000 ton/mes, obligando a la creación de celdas y generando dificultades ambientales y técnicas estancando el seguimiento de la normatividad. En el año 1985 se anunciaron continuos problemas de incendios así que se habilitó un nuevo sector del depósito para tener una mejor administración y sólo hasta 1997 se dio a conocer una normatividad de impacto ambiental, donde hasta hoy no se registran depósitos de residuos industriales y tratamiento de lixiviados y fenoles, además de los inconvenientes que actualmente surgen con las aves de carroña en las afueras del Aeropuerto de Palonegro.

“El CARRASCO” nunca se adecuó para su funcionamiento como relleno sanitario que, según las reglas internacionales, debe tener: un frente de trabajo pequeño, la zona donde se descargue el camión debe ser la única que esté descubierta de basura, se aconseja que cada tonelada de basura tenga más de 300 kilos de tierra, que pase un compactador 10 veces para asegurar que no haya acumulación de gases, que la densidad de compactación sea de 1 Tonelada / m<sup>3</sup>, que tenga una forma adecuada la tierra y que se pueda reutilizar. Pero esto no se hace y aunque han cambiado muchas cosas, convendría buscar otro lugar con las nuevas descripciones y especificaciones.

## **1.2. ALCANCE**

El proyecto plantea realizar un análisis geológico, geotécnico e hidrológico, haciendo énfasis en la parte geotécnica ya que es la principal causa de dificultades que se presentan durante la vida útil del relleno; esto para corregir, modificar o cambiar el método con el que se maneja la disposición final de los residuos sólidos, revisando las pautas y condiciones con las que debe regirse según las reglas y normatividades existentes nacionales e internacionales, éstas últimas si se consideran convenientes para la mejoría del proceso, operación, mantenimiento y control de la ubicación del esparcido y compactación de las basuras, además del semejante tipo de suelo al existente en “El Carrasco” o a los elegidos para el nuevo, y número de habitantes de dicha región. Se consideran de suma importancia estudios previos de la zona de trabajo, al igual que la información de problemas que se han presentado en diferentes ciudades del país o del extranjero para la elección más acertada teniendo en cuenta todos y cada uno de los aspectos social, ambiental y de salubridad.

Durante la ejecución de esta actividad se tendrán en cuenta varias alternativas para solucionar el problema actual de “El Carrasco”, incluyendo para cada una de ellas los respectivos estudios, ventajas y desventajas que facilitarán tanto la nueva adecuación del sitio como el cambio temporal o definitivo del almacenamiento y tratamiento de desechos orgánicos e inorgánicos producidos por Bucaramanga, su área metropolitana, Rionegro, El Playón, Charta, Cáchira y Suratá.

No es objeto de estudio de este trabajo realizar ningún análisis financiero o económico, de los costos que implique el ajuste, desarrollo y entrega final del lugar a ocupar.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **a. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar las condiciones y problemáticas presentadas por los rellenos sanitarios y considerar posibles soluciones que se ajusten a la zona de impacto de la región.

#### **b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Establecer las normas técnicas necesarias en Colombia para la realización de un relleno sanitario desde el punto de vista geológico, geotécnico, hidrológico y ambiental que se deben aplicar para el buen funcionamiento del proyecto.
- ❖ Compilar y examinar normas y experiencias internacionales acerca del desarrollo de un relleno sanitario.
- ❖ Revisar los procesos de diseño, construcción, y mantenimiento de un relleno sanitario.
- ❖ Analizar las problemáticas presentadas en los rellenos sanitarios y las posibles soluciones desde el punto de vista geotécnico.
- ❖ Realizar un análisis respecto a la contaminación originada por el relleno sanitario en la ciudad de Bucaramanga. Soluciones

#### **1.4. GENERALIDADES**

El crecimiento de la población y la búsqueda de una mejor calidad de vida, han generado un aumento de desechos, obligando a la aplicación de nuevas tecnologías y materiales para tal fin. Por esto, el afán de otra percepción debido al fracaso de innumerables técnicas de eliminación de basuras, lo que ha llevado al desarrollo del mejor proceso diseñado hasta el momento, el relleno sanitario.

El método más óptimo, el de menor degradación a la humanidad por su reducción a los problemas de salubridad, pero que debe ir acompañado de campañas que refuercen la concientización y manejo de residuos renovables.

##### **1.4.1. Relleno Sanitario**

La definición de relleno sanitario abarca tanto procesos de selección, como de control y tratado de desechos sólidos; básicamente es el lugar donde se depositan residuos no reciclables ni aprovechables, con el fin de mitigar los impactos ambientales ocasionados por su disposición a cielo abierto. Uno de los procesos consecuentes e importantes es la disminución del tamaño de los materiales recibidos, su compactación y contracción de volumen, ya que el espacio cada vez es más pequeño y se dificulta el encontrar un sitio apto para su disposición. Por ende se estipularon diferentes normatividades para el cumplimiento y ejecución óptima del relleno sanitario.

Un relleno sanitario genera bajos costos de operación y mantenimiento, la inversión inicial es inferior a otros métodos conocidos como incineración o compostaje. Es un método que abarca con la totalidad de requerimientos óptimos, debido a la capacidad de recibir todos los desechos sólidos, haciendo posible la acción de reciclaje más controlada. Generación de empleo mano de obra no calificada, la ubicación debe ser lo más cercana posible para mitigar costos de transportes y fácil acceso a la supervisión, recobrar terrenos considerados

improductivos, todos estas son ventajas del manejo de un relleno sanitario en pro del desarrollo de la comunidad y mayor salubridad.

#### **1.4.2. Composición de las Basuras**

De acuerdo a los parámetros establecidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000 – TITULO F) cita la siguiente composición:

F.1.4.4.1 Esquema de clasificación según la composición física:

Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Residuos de comida y jardín
2. Productos de papel
3. Productos de cartón
4. Plástico
5. Caucho y cuero
6. Textiles
7. Madera
8. Productos metálicos
9. Vidrio
10. Productos cerámicos, ceniza, rocas y escombros
11. Huesos
12. Otros

F.1.4.4.2 Esquema de clasificación según la procedencia de los residuos sólidos. Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Residenciales
2. Industriales
3. Institucionales
4. Hospitalarios
5. De barrido

F.1.4.4.3 Esquema de clasificación según la factibilidad de manejo y disposición. Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Comunes
2. Especiales

F.1.4.4.4 Esquema de clasificación según el grado de peligrosidad. En sistemas de gestión de residuos peligrosos, los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Comunes
2. Peligrosos

### **1.4.3. Aspectos Demográficos**

Es necesario conocer la población a la cual se generara la prestación del servicio del relleno sanitario, puesto esto me genera información como cantidad de operación diaria, además de tipo de residuos, área de ejecución o recolección de desechos, y uno de los más importantes la proyección a futuro del relleno sanitario. Se debe diferenciar la producción de basura urbana y rural, debido a la cantidad diaria generada y su recolección, por lo que hace merecida nuestra atención en la producción urbana.

Así como en las diferentes obras de servicio público se debe estimar la población futura que demandara la asistencia para un control y seguimiento, esta ejecución es de igual magnitud, lo que me lleva a realizar una estimación de este aspecto por medio de proyecciones que pueden ser tomadas de modelos matemáticos proporcionados por la RAS – 2000 o el DANE entre otros.

## **2. PAUTAS TÉCNICAS Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN RELLENOS**

### **2.1. EXPERIENCIAS**

#### **2.1.1. Perú**

De acuerdo a los escenarios proporcionados por la prensa peruana, el país necesita, al menos, 100 rellenos sanitarios para almacenar la basura que su población produce. Actualmente, solo hay nueve rellenos sanitarios en el país y diariamente se producen entre 17 mil a 18 mil toneladas de residuos. Solo en Lima y Callao se originan 9 mil toneladas cada día. Pero se almacena 4,500 toneladas, es decir el 25%. La limitación de estas construcciones provoca una pérdida de desechos a recolectar induciendo el aumento de los botaderos de basuras.

Al respecto, la empresa Perú Waste Innovation (PWI), especializada en temas de residuos sólidos y líquidos, asegura que en los últimos años se ha manifestado un crecimiento superior al 50% de la producción de basura solo en la capital y el mal uso de rellenos sanitarios agrava la situación.

En Lima están ubicados cinco de los rellenos sanitarios: Huaycoloro, ubicado en la Provincia Huarochirí; Portillo Grande, en Lurín; Ancón, Modelo del Callao, en Ventanilla, y el de Zapallal, en Carabayllo.

Manifestando la problemática de que solo el 25% de la producción total de residuos sólidos, encontramos un 71.52% de desechos que son llevados a botaderos a cielo abierto sin ningún tipo de tratamiento o especificaciones técnicas e incluso siendo las basuras quemadas afectando el medio ambiente, el 3.45% se desarrolla en procesos de reciclaje.

El relleno sanitario El Zapallal, uno de los sitios de almacenamiento de residuos sólidos más importantes de Lima (Perú) consta de 338 hectáreas, de las cuales solo 203 son aptas para uso del relleno. Este se encuentra conformado por zonas de disposición final de residuos domésticos y de áreas apartadas para desechos hospitalarios e industriales.

El relleno está situado en Las Lomas de Carabayllo y se encuentra a disposición de la empresa municipal RELIMA desde hace aproximadamente 18 años, pero en épocas anteriores ya se tomaba como un sitio de disposición de basuras a cielo abierto por parte de la ciudad. Sin ningún tipo de control en el relleno se promovió la actividad de reciclaje en depósitos de material, siendo este el sustento de muchas familias donde cuyos hijos trabajan en esta actividad prematuramente siendo altamente nociva para la salud y desarrollo integral.

A los alrededores del relleno se presenta recolección y transformación de materiales reciclables, así como la crianza de cerdos de manera informal, la aparición de estas actividades cercanas al sitio de disposición y sin control aumentan la problemática de contaminación ambiental que se genera actualmente

propia del relleno. Instancias como la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) han comprobado estas situaciones en la zona.

No solo estas actividades aledañas se encuentran en ejecución sino también las explotaciones mineras no metálicas, al igual que el polvo procedente de ladrilleras y la fundición de plomo de fábricas clandestinas, todos estos factores aumentan los índices de polución generados en el ambiente de la ciudad y poblaciones cercanas al relleno. Con todas estas manifestaciones es evidente encontrar problemas ambientales y afectaciones en las poblaciones como enfermedades e incluso intoxicaciones.

Como se ha mencionado anteriormente el relleno sanitario era un botadero de basura a cielo abierto y los poblados cercanos a esta zona que poseían poco presupuesto, no tenían donde depositar sus basuras y los costos de transporte resultaban sumamente costosos hasta el Zapallal, generando así un abandono de las basuras en las calles o en terrenos rústicos sin ninguna cerca, lo que conllevó a la creación de un nuevo relleno sanitario el Huaycoloro amenizando en gran parte esta problemática.

Actualmente, éste recibe la basura de 23 distritos de la capital el 60% del total producido, que se traduce aproximadamente en 3,200 toneladas de desechos diarios, los cuales, en épocas de gran comercio como la Navidad, bordean las 3,500 toneladas.

En mejora del desarrollo y producción del relleno, este cuenta con una planta de conversión que quema 4,000 pies cúbicos de gases tóxicos por minuto, provenientes de los residuos sólidos, se ha requerido la construcción de un gaseoducto de diez kilómetros de extensión que capte el biogás generado en el

sitio de disposición final por la degradación de los desechos sólidos orgánicos que son quemados en un equipo de combustión de última tecnología.

La conversión de metano en dióxido de carbono por parte de la planta de Petramas, empresa encargada actualmente de la disposición de los desechos sólidos en el relleno sanitario Huaycoloro, reducirá en 21 veces el efecto invernadero de la emisión de estos gases a la atmósfera. Uno de los proyectos más cercanos de Petramas es la generación de energía eléctrica a partir de la combustión de gases producidos en esta misma planta.

El relleno sanitario comenzó operaciones en 1994 y se anticipa que permanecerá en operación hasta el 2040, los futuros índices de disposición asumen un índice decrecimiento anual de 1.5 por ciento, con una capacidad total de 10.5 millón toneladas de residuos sólidos.

El relleno sanitario no cuenta con recubrimientos inferiores debido a que las aguas subterráneas se encuentran a unos 120 metros de la superficie, aproximadamente, no posee un sistema de colección y control activo de los gases por lo que se utiliza posos de venteo pasivo como chimeneas. El máximo espesor de los residuos sólidos será de aproximadamente 20 metros. Los taludes del relleno sanitario tienen una inclinación de aproximadamente 4V a 1H. Los lixiviados colectados son desviados a un pozo de infiltración localizado a las fueras de los residuos al sur de la vía principal al relleno.

Las tierras en la cercanía son muy porosas y contiene una fracción significativa de piedras. Aunque en la región se presente neblina, el total de precipitación en el lugar está entre los más bajos del mundo, con un promedio anual de precipitación de alrededor de 1 cm por año.

Es importante resaltar la organización que se ha llevado en la ejecución de la operación del relleno, puesto que actualmente consta de una planta de energía eléctrica el suministro de esta energía es aprovechada por recursos energéticos renovables. Para llevar a cabo este proyecto se realizó la construcción de 200 pozos de extracción de biogás, un gaseoducto de 15 km., una estación automatizada de succión con su respectivo quemador y ahora se incorporará una planta de purificación de biogás, 3 poderosos motores de 1.6 MWh de energía cada uno y una red de transmisión de energía de 8 Km.; todo esto con una inversión aproximada de 15 millones de dólares.

### **2.1.2. Ecuador**

El Inga, ubicado en la vía Sangolquí-Pifo, al sureste de Quito. Se encuentra dividido en dos secciones: El Inga I, que estaba a cargo de la empresa Corpsys y El Inga II que ahora maneja la empresa Natura Inc. En la primera fase se presume que hay 70 000 m<sup>2</sup> de lixiviados sin tratamiento y están bajo tierra. Esto constituye un riesgo para el medioambiente.

El Inga cuenta con 19 piscinas de tratamiento de lixiviados a mediados del mes de octubre de 2009, estas piscinas se encontraron propensas al derrame y diariamente se generan 120 m<sup>3</sup> de lixiviados, imposibilitando el adecuado tratamiento y manteniendo acumulado de cerca de 2000 m<sup>3</sup>, a esto se le suma el agrietamiento de algunas de las piscinas y otras que no se encuentran en operación.

Este evento ya se había repetido anteriormente en el año 2007 donde debido a los 90 y 140 m<sup>3</sup> diarios que se generan de lixiviados en verano e invierno, respectivamente, donde seis de las 19 piscinas colapsaron y rebosaron permitiendo que agua contaminada saliera a la superficie. En la actualidad, los

líquidos se almacenan en 17 piscinas cumpliendo con un proceso de disminución del nivel de contaminantes, a traves de un sistema de eliminación de impurezas, concluyendo con una planta de osmosis inversa, para así poder ser arrojada al rio Inga.

Uno de los principales problemas que atacan el Inga es la falta de tratamiento de los residuos hospitalarios los cuales son altamente infecciosos, teniendo en cuenta la licencia ambiental que reglamenta el relleno en el artículo 6 donde solo es permitido el uso del terreno para desechos comunes, además de la falta de esta regulación se encuentra presente la ausencia de tratamiento para estos residuos peligrosos, incrementando la vulneración de los trabajadores y de poblaciones cercanas, estos eventos se presentaron a mediados del 2005.

No solo problemas de tipo técnico se ha presentado, sino también político y administrativo, ya que las dos etapas del Inga estaban siendo ejecutadas por empresas diferentes Corpsys y Fundación NATURA, dificultando una operación continua y estable para prevenir y mitigar los obstáculos que continuamente persisten.

Se realizaron estaciones de transferencia las cuales permitían mantener la capacidad del Inga, esta estación fue llamada Inga II, como desarrollo del relleno se ha tratado de mantener en constante control para no evidenciar problemáticas de residuos generadas especialmente por los lixiviados.

En El Inga actualmente se depositan 1 mil 600 toneladas diarias de desechos, la vida útil del relleno se había estipulado en un intervalo de 15 años y su funcionamiento comenzó en el 2003, frente a estas características y las problemáticas generadas en tampoco tiempo se llega sin lugar a dudas a su

clausura en el presente año para así entrar en operación definitiva de los desechos en el Inga II.

Se entra en operación una completa planta de lixiviados en pro de superar todos los altercados, además de una planta generadora de biogás para el mantenimiento del relleno y consecuentemente para el desarrollo de la ciudad de Quito.

### **2.1.3. Chile**

En Santiago de Chile se encuentran tres rellenos uno de ellos es el relleno Lomas los Colorados, este relleno, administrado por KDM S.A., cuenta con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) y comenzó su operación en junio de 1996. Tiene una vida útil de alrededor de 50 años, dependiendo del volumen de residuos ingresados. Se ubica en la comuna de Til-Til Km 63,5, ruta 5 Norte al frente de la localidad de Montenegro.

Este proyecto está desarrollado en seiscientas hectáreas, de las cuales 210 corresponden a la zona de disposición final de los residuos. Actualmente, está diseñado para recibir mensualmente alrededor de 150 mil toneladas de residuos y cuenta con un área de vertido dividida en veinticuatro celdas.

Se han encontrado diferentes eventos donde de los cuales la intoxicación de algunos cóndores han encendido las alertas ambientales, debido a que esta especie cohabitaba en el relleno sanitario Loma Los Colorados de KDM, llevando a la empresa a llevar a cabo la ejecución de un proyecto para promover la conservación de estas aves y detener esta acción.

Desde la ejecución del relleno sanitario se ha evidenciado un aumento de la presencia de cóndores, que han llegado a convivir con su operación, siendo en los

comienzos de ella tan sólo en los meses de invierno, y hoy en día, prácticamente durante todo el año, por consiguiente evitar los riesgos que implica que ellos se estén alimentando en este sitio.

Un relleno sanitario tiene que mitigar los efectos ambientales adversos que se puedan generar en su entorno por la acumulación de residuos sólidos urbanos que se realiza en él, por lo cual se debe implementar tecnología ambiental que permita preservar el medio ambiente y con ello contribuir a la salud de la población.

Se han implementado multas por el derrame de líquidos percolados la cual tendrá que ser cancelada por la empresa KDM, responsable del relleno sanitario Lomas Los Colorados, estos derrames afectó al estero Montenegro.

Se explicó que el escurrimiento, que se produjo el 11 de diciembre de 2002, se debió a la acumulación en un bolsón interno del relleno de líquidos lixiviados, que salió por alguna parte más débil del talud.

Este fue un problema que ocurrió porque de alguna manera, el terreno es muy arcilloso, lo que aparentemente dificultó el escurrimiento vertical de los lixiviados. Se mencionó que el error de la empresa fue no haber realizado los estudios necesarios con anterioridad sin una emergencia como esta. Luego del derrame, el Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) ordenó a la empresa una serie de estudios geotécnicos y análisis de la quema de biogás puesto que no estaría siendo evacuado correctamente y a partir de los resultados obtenidos deben entregar una solución técnica que estabilice el relleno.

El 26 de diciembre de 2002, la Comisión Regional Metropolitana del Medio Ambiente (Corema RM), multó al relleno sanitario Santiago Poniente por no cumplir con el mejoramiento de la ruta de acceso antes de empezar a operar.

El relleno Santa Marta cuenta con Resolución de Calificación Ambiental (RCA). Comenzó a operar a fines de abril del 2002. Se encuentra ubicado a 12 kilómetros de la Ruta 5 Sur comuna de Talagante. Está diseñado para recibir mensualmente un máximo de 60 mil toneladas de residuos sólidos domiciliarios, comprende un total de 296 hectáreas y su operación está proyectada a veinte años.

Debido a la falta de capacidad de las piscinas que almacenan los líquidos percolados ya que de los 30.000 metros cúbicos que pueden acumular sólo hay espacio para 7.500 y se presentó incumplimiento de la empresa responsable del relleno de tener lista la planta de tratamiento de dichos líquidos.

El relleno Santa Marta fue sancionado nuevamente en octubre del 2002 por el Sesma, por rebajar el tonelaje de basura permitida en él a un 50 por ciento (22 mil toneladas), por no cumplir con la ordenanza de tener una planta para líquidos percolados, traspasándolos al acopio de Santiago Poniente.

El Santiago Poniente el último relleno que cuenta con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) comenzó a operar a principios de octubre del 2002. Cuenta con una superficie impermeabilizada de alrededor de 35.000 m<sup>2</sup> correspondientes a la zona de depósitos de residuos de una superficie 57.300 m<sup>2</sup>. Se ubica en el Fundo la Ovejería de Rinconada Lo Vial, Comuna de Maipú. Está diseñado para recibir 40 mil toneladas mensuales de residuos domiciliarios.

Luego de ocho años desde el comienzo de su operación, el Relleno Sanitario Santiago Poniente ha recibido once multas por parte de la Comisión Regional de Medioambiente Metropolitana (Corema). Los cargos por los cuales ha sido multado son diversos:

Transporte de excedentes de excavaciones en camiones sin carga, depósito de materiales fuera de las zonas definidas en el proyecto, no se cumplió con la metodología propuesta para establecer un sistema de comunicación permanente con la comunidad, no se presentó un plan de reforestación.

## **2.2. PAUTAS TÉCNICAS**

### **2.2.1. Perú**

Según la perspectiva generada por el Perú, los rellenos sanitarios deben cumplir a cabalidad con parámetros como mantener una distancia límite no menor de 1500 metros a la demarcación de un aeropuerto a pista de aterrizaje, no se deben escoger zonas donde se generen daños a los recursos hídricos, a la flora, a la fauna, ni lugares que afecten bienes culturales.

En el relleno sanitario no se deben presentar fallas geológicas, zonas con probabilidad de deslaves, no debe estar propensa a inundaciones en periodos de recurrencia de 50 años, ni debe poseer lugares inestables y cauces de quebradas.

Si llegase a encontrarse en una zona sísmica que por lo general se debe evitar, pero llegado el caso esta zona no debe sufrir agrietamientos, desprendimientos, desplazamientos que pongan en peligro la ejecución del relleno o la seguridad personal.

El relleno debe encontrarse fuera de las zonas de influencia de obras como embalses, represas, hidroeléctricas, refinería, entre otras. La distancia a la población más cercana no debe ser menos de 1000 metros.

El lugar debe encontrarse cerca de una vía de acceso para así facilitar el ingreso de camiones de recolección y el transporte de residuos. Es de preferencia tener zonas planas o con pendientes moderadas, además de cumplir con factores de impermeabilidad, estabilidad, profundidad y extensión suficientes, resistencia a la erosión, estos son de los parámetros topográfico, geológicos e hidrogeológicos a tener en cuenta entre otros, no se deben existir aguas superficiales a una distancia de un kilómetro del perímetro del relleno sanitario y aguas subterráneas a una distancia de 20 metros de la base de la infraestructura. El sitio del relleno debe poseer suficiente material de cobertura de fácil adquisición, de lo contrario se debe garantizar su obtención durante la vida útil del relleno, la cual no debe ser inferior a cinco años, se prefieren sitios con materiales areno arcillosos de baja permeabilidad no mayor a  $10^{-5}$  cm/s.

Se debe tener en cuenta la dirección del viento que esta no afecte a las poblaciones aledañas, por lo que los vientos deben tener dirección desde el área urbana hacia el desarrollo del relleno, de no ser posible se debe realizar siembra de árboles y vegetación espesa alrededor del relleno. El cerco perimetral debe encontrarse a una altura mínima de 1.80 metros, el cartel de entrada debe tener dimensiones 2.0 x 3.0 metros y a una altura de 3 m.

De no contar el suelo con una barrera geológica, se debe impermeabilizar con una capa de arcilla, el espesor se encuentra en función de la capa freática y de la precipitación pluvial del sitio, la permeabilidad no debe ser mayor a  $10^{-7}$  cm/s, garantizando que con estos parámetros no se produzca contaminación, si no ajustar de acuerdo a los requerimientos. Las celdas diseñadas pueden poseer una altura máxima de 3 metros para un relleno semi-mecanizado y mecanizado y el área a disposición se encontrará en función del volumen diario de residuos que ingresan al relleno, cada celda no deberá exceder  $300 \text{ m}^3$  de residuos compactados, con un espesor no mayor de 0.5 metros.

Se deberá construir canales temporales para impedir que las aguas lluvia se infiltren en el relleno e ingresen a las celdas, se prefiere la construcción de canales trapezoidales con dimensiones 0.30 en la base, 0.50 de profundidad y pendiente máxima de 4%. Las chimeneas son de sección de cuadrada con dimensiones de 0.30 x 0.30 metro como mínimo, y deben ser distribuidas de forma equidistante cada 30 metros máximo. La concentración de gas metano no deberá exceder el 25% de su límite de explosividad.

En la captación de lixiviados se realizaran drenes instalados en la base del relleno como en el pie de los taludes, las dimensiones deben ser compatibles con los caudales esperados de lixiviados, La capa del material drenante debe ser de espesor no menor a 30 centímetros con un coeficiente de permeabilidad no inferior a  $10^{-2}$  cm/s, debiéndose asegurar que las cargas hidráulicas sobre el sistema de impermeabilización serán inferiores a 30 cm.

Según el diseño establecido se debe contar como mínimo con una capa de cobertura de 0.15 metros de material de cobertura que debe ser preferiblemente areno arcilloso y la capa final de cobertura para la operación de clausura del relleno debe tener como mínimo 0.60 metros.

La descarga de los residuos debe realizarse en la parte inferior de la celda, el esparcido se realizará de abajo hacia arriba del talud, en capas no superiores a 0,50 m y con una pendiente no superior a 1V:3H, la maquinaria empleada para la compactación deberá realizar no menos de 3 pasadas. No se debe realizar ningún tipo de quema de residuos en el relleno sanitario, para evitar la contaminación de ríos cercanos, pozos o quebradas se tomaran muestras de la calidad del agua, esta operación se seguirá realizando en la etapa de clausura y cierre del relleno por lo menos de los primeros 5 años de sellado el relleno sanitario.

### **2.2.2. Ecuador**

El nivel freático del terreno se prefiere a una profundidad mayor a 3 metros durante todo el año, preferiblemente el terreno plano o con cierta inclinación alrededor de 3 y 12%, se prefieren suelos con altos porcentajes de arcilla para así asegurar la baja permeabilidad. Si el suelo tiene una permeabilidad de  $10^{-6}$  cm/s y un espesor de 3 metros o más para obtener una mínima cantidad de aguas lixiviadas que infiltren el suelo, garantizar que los contaminantes se queden dentro del relleno. De no cumplir los parámetros anteriores se debe construir una capa mineral impermeable con un factor de impermeabilidad menor al  $10^{-9}$  cm/s o el uso de una capa impermeable de plástico con espesor mínimo de 2 mm. La capa de drenaje debe estar constituida por material homogéneo, no contener partículas finas, el espesor hidráulicamente eficiente debe ser menor a 30 cm; se debe construir una capa con espesor de 50 cm con el fin de proteger la permeabilidad hidráulica durante muchos años. Se debe procurar encontrar zonas donde las precipitaciones sean de menos de 300 mm, además de contar con un canal apropiado para interceptar y desviar las aguas lluvias. No se deberá tomar en cuenta sitios donde la región sea ecológicamente vulnerable, altas zonas sísmicas, no se debe construir en sitios donde el terreno sea completamente plano, para el vertimiento de lixiviados se recomienda mantener una pequeña pendiente. La basura deberá colocarse en capas delgadas de espesor no menor a 30 cm, donde la máquina compactadora deberá pasar al menos unas 20 veces sobre el mismo sitio. El relleno debe mantenerse a una distancia de 1000 metros de las pistas de aterrizaje del aeropuerto más cercano.

Si el  $\text{CH}_4$  (metano) es explosivo en concentraciones entre 5 - 15 %; en concentraciones más elevadas de 15 %, es inflamable, por lo cual se deben optar por tener concentraciones menores para evitar cualquier tipo de indisposición. En rellenos compactados y donde el cuerpo de basura tiene una altura mayor a 15 metros la distancia entre las chimeneas puede estar en el rango de 15 a 20 metros.

Las dimensiones de la chimenea se encontraran entre 0,5 y 1,0 metros de acuerdo al diseño generado y la eliminación de gases. Se debe interrumpir la succión e incineración del gas de relleno si supera el contenido de oxígeno el 6 % y baja el contenido de metano a menos del 25 %.

No deben existir cerca al relleno poblaciones cercanas a una distancia inferior de 300 metros y dependiendo de las condiciones del terreno esta puede aumentar hasta 1000 metros. No debe contar con efluentes superficiales cercanos alrededor de los 200 metros del perímetro del relleno, tampoco se deben presentar fallas geológicas o cualquier tipo de actividad que me genere inundaciones o desprendimiento de material o de los mismos desechos. Construcción de la capa final consta de 0,4 a 0,6 metros de capa impermeable, además de una capa de drenaje de aguas lluvias de espesor de 0,5 metros de suelo arenoso, arena, suelo entreverado con piedra o grava y por ultimo una capa de humus de espesor mayor a un metro para soporte de la capa vegetal y cubrimiento de erosión.

### **2.2.3. Chile**

El relleno sanitario debe encontrarse a una distancia mayor de 300 metros de cualquier vivienda o lugar habitable y a una distancia mayor de 600 metros de toda población o grupo de viviendas y mucho menos con sitios que cuenten con atención de la salud, educación, fabricación de alimentos , ente otros.

Del final de la pista de aterrizaje de todo aeropuerto al relleno sanitario debe haber una distancia no menor de 3000 metros y no menor de 1500 del final de la pista del aeropuerto utilizado solo por aviones tipo pistón. Los sitios donde se generan afloramientos, bordes costeros, riberas húmedas, todos estos parámetros son impedimentos del suelo para la construcción de un relleno sanitario, además es importante tener en cuenta que la basura no debe estar expuesta al lavado o

arrastre de los desechos, sea por escorrentía superficial o por inundaciones con periodos de retorno menores a 100 años.

No se deben presentar fallas geológicas activas, ni encontrarse expuesto a deslizamientos o derrumbes de terreno, no encontrarse expuesto a asentamientos debido a la existencia de minas subterráneas, extracción de agua, petróleo o gas o de suelos expuestos a disolución, tampoco puede ubicarse en suelos inestables o de baja resistencia. El sitio debe contar con material de cobertura suficiente para el desarrollo de la vida útil del relleno, y si no se provee de el en el lugar del relleno se debe contar con el material de otro sitio y cumplir con requerimientos aptos para el uso del material.

Los taludes no deben poseer pendientes superiores a 1V:3H, en caso que se aumente la pendiente de los taludes se debe demostrar que la relación de los esfuerzos resistentes y los esfuerzos deslizantes es mayor o igual a 1,5 en condiciones estáticas y mayor o igual a 1,3 bajo condiciones sísmicas.

Para poblaciones mayores de 100 mil habitantes y con precipitación mayor de 150 mm se debe tener en cuenta requerimientos mínimos de impermeabilización como membrana plástica con un espesor mínimo de 0,76 mm y de 1,52 mm en el caso de polietileno de alta densidad, sobre capa de arcilla de 60 cm espesor y conductividad hidráulica máxima de  $10^{-7}$  cm/s o en su defecto un sistema de impermeabilización de dos membranas que garantice condiciones iguales o superiores de impermeabilidad, así sucesivamente de acuerdo a lo que nos proporcione el terreno y las necesidades a satisfacer.

Para el tratamiento de lixiviados se debe contar con una capa de material drenante de espesor no menor a 30 cm con un coeficiente de permeabilidad no inferior a  $10^{-2}$  cm/s, asegurándose que las cargas hidráulicas sobre el sistema de

impermeabilización. Dentro del diseño se debe contemplar escorrentías con duraciones de 24 horas y con periodo de retorno de 25 años. La producción y evacuación de biogás debe poseer de un sistema de control y este será descargado a la atmosfera después de realizada su combustión.

El cerco perimetral deberá contemplar una altura mínima de 1.80 metros. Las basuras deberán ser depositadas en la parte inferior de la celda, los residuos deberán ser distribuidos con la maquinaria desde abajo hacia arriba del talud, en capas no superiores a 60 cm y con una pendiente no superior a 1V:3H se debe compactar los residuos con no menos de 3 pasadas de maquinaria o hasta que no sea posible disminuir el volumen de los residuos.

El material de cobertura debe contar con las siguientes características ser fácilmente trabajable con maquinaria, incluso en humedades superiores a la óptima, alcanzar una permeabilidad una vez compactada que permita controlar la infiltración de aguas lluvias y que posibilite el control del paso de gases o vapores a través de la celda sanitaria, tener una granulometría bien graduada, presentar un grado de cohesión suficiente para formar un capa de cobertura, presentar una vez compactada una permeabilidad máxima de  $10^{-4}$  cm/s, siendo estas las más señalas e importantes. Dentro de las acciones prohibidas se encuentra el vertimiento de aguas residuales, así como la quema de desechos dentro del relleno. La concentración de gas metano no podrá exceder el 25% de su límite de explosividad.

De la operación de clausura del relleno para una población mayor de 100 mil habitantes y con precipitaciones mayores a 150 mm, la capa de cobertura final deberá contar con la siguiente configuración, capa de 60 cm de material arcilloso con permeabilidad máxima de  $10^{-7}$  cm/s colocada sobre una geomembrana de 0,5 mm de espesor, todo ello sobre una capa de material drenante de 30 cm de espesor y coeficiente de permeabilidad mínimo de  $10^{-3}$  cm/s, luego de toda esta

cobertura final se debe colocar una capa de tierra de 15 cm para así lograr sostener vegetación y minimizar la erosión de la cobertura.

### **2.3. ANÁLISIS DE LAS PROBLEMÁTICAS**

De acuerdo a los lineamientos mencionados para cada país anteriormente se puede obtener un análisis referente a las problemáticas que se han presentado y como estas normas se han reflejado tanto en la solución como en la generación del problema. Uno de los evidentes problemas del relleno el Zapallal y el Huaycoloro se encuentran en la recolección y transporte de los residuos, por lo cual, la organización administrativa presenta falencias, mas no en la parte técnica de diseño y operación del relleno dentro de su perímetro. Los rellenos Inga I y Ilse presentan continuamente problemas con lixiviados debido a la alta tasa de precipitación que se generan en Quito, y por la poca profundidad del nivel freático, pero si evidenciamos los lineamientos, se deben encontrar terrenos donde el suelo por lo menos mantenga una permeabilidad menor o igual al  $10^{-6}$  cm/s de no cumplirse este factor se debe impermeabilizar con una capa con permeabilidad menor a  $10^{-9}$  cm/s.

A medida que pasa el tiempo el clima es más agresivo, presentando lapsos de tiempo largos con lluvias cada vez más intensas y frecuentes, generándose así variaciones en las proyecciones climáticas, por lo que se debe prever con más exactitud cuánto caudal devengará la planta de tratamiento de lixiviados para no presentarse colmataciones en su estructura. Evidenciando esta situación lo más aconsejable es extraer el exceso de lixiviados y proporcionar un tratamiento para así poder cumplir con los requerimientos de ser vertidos en el cauce de aguas superficiales.

El relleno de Santa Marta en Santiago de Chile cuenta con problemáticas similares a las del Inga I y II en Quito, los desechos en Santa Marta pueden acumular hasta 30.000 metros cúbicos y su planta de tratamiento solo puede captar 7.500 metros cúbicos. El relleno Lomas los Colorados presenta una problemática relacionada a las evidenciadas pero su origen se fundamenta en la acumulación de lixiviados dentro de los desechos sin llegar a la base del talud, saliendo por la parte más débil del mismo.

De acuerdo a las especificaciones de diseño como altura del material de cobertura y la permeabilidad desarrollada para dicho material que no debe ser menor a  $10^{-2}$  cm/s, podemos deducir en el problema anterior que este material de cobertura pudo contar con un índice de permeabilidad muy bajo que me haya impedido el desplazamiento vertical de los lixiviados, encontrando estos una salida donde la presión de poros sea menos. Una de las opciones a tener en cuenta para que se genere un filtrado adecuado es el aumentar el índice de permeabilidad para generar un movimiento vertical del flujo y no un estancamiento del líquido percolado.

Cada región en cada país de acuerdo a su sistema climatológico, geografía y composición del suelo proporciona lineamientos que rigen el desarrollo y ejecución de un relleno sanitario, por lo que para nosotras es difícil cuestionar dichas normas técnicas internacionales, pero estas indiscutiblemente se fundamentan en un principio básico, el depósito de desechos de una forma controlada y con el mínimo de afectaciones a la comunidad y medio ambiente.

Resaltando las normas plasmadas estas presentan similitudes como disposiciones de distancias mínimas requeridas a pistas de aterrizaje, a zonas pobladas y a fuentes hídricas, la distancia mínima del final de la pista del aeropuerto al relleno debe ser de 1500 metros, del final de la pista de aterrizaje de todo aeropuerto al

relleno sanitario debe haber una distancia no menor de 3000 metros, la distancia mínima a las zonas pobladas aledañas al relleno debe ser de 1000 metros, no debe contar con efluentes superficiales cercanos alrededor de los 1000 metros del perímetro del relleno y aguas subterráneas a una distancia de 20 metros de la base de la infraestructura, todas estas como las máximas distancias encontradas dentro de la revisión de los países señalados.

No se deben encontrar rellenos en zonas sísmicas, en fallas geológicas, en sitios de influencia de obras como embalses, represas, hidroeléctricas, refinería, entre otras. Se debe encontrar cerca de una vía de fácil acceso. El cerco perimetral debe encontrarse a una altura mínima de 1.80 metros. Las demás delimitaciones se encuentran dentro del proceso de diseño y dependen de la morfología del terreno, cantidad de basura a depositar, estudios geotécnicos, topográficos e hidrogeológicos.

### **3. NORMAS TÉCNICAS Y EXPERIENCIAS EN COLOMBIA**

#### **3.1. REGLAMENTACIÓN VIGENTE**

No se deben pasar por alto los lineamientos y normas vigentes con respecto a controles de diseño, construcción y obras de infraestructura que se deban tener en cuenta obligaciones con la autoridad ambiental, con respecto a inspecciones y restricciones para así reducir los efectos negativos durante su construcción y operación.

Los documentos más destacados o primordiales para tener en cuenta son:

- Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)
- Plan de Ordenamiento Territorial

- Licencia Ambiental
- Reglamento Técnico del Sector (RAS – 2000)
- Reglamento Operativo
- Normatividad expedida sobre la materia por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil o la entidad que haga sus veces
- Decreto 838 de 2005

Estas normatividades guían y dirigen la ejecución del diseño y construcción de un relleno sanitario, los parámetros técnicos más importantes a tener en cuenta, y lineamientos que no se deben desarrollar.

### **3.1.1. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Metropolitano (PGIRS)**

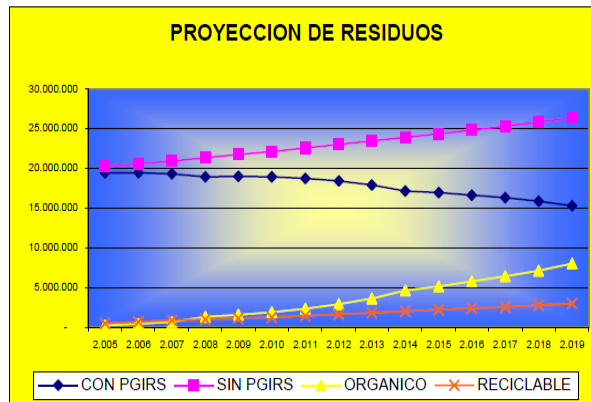
“Este PGIRS es un instrumento que fija proyectos y metas a acorde con los planes de desarrollo municipal, para el manejo concertado y eficaz de los residuos sólidos.”<sup>1</sup> Dentro de los Objetivos de calidad de la EMAB se encuentra el aumentar la cobertura de sus servicios para satisfacer la demanda actual y futura de la prestación del servicio público de aseo domiciliario, siendo este objetivo una de las causas para fortalecer el PGIRS en torno al crecimiento del área metropolitana.

Una de las metas evidentes y concernientes en el proyecto es la necesidad de disminuir la cantidad de residuos en el sitio de disposición final y mitigar las problemáticas que se generen en poblaciones cercanas al relleno sanitario, para ello es necesaria la vinculación constante con la ciudadanía para concientizar sobre los impactos que se generan por el incremento exponencial de residuos, además de la contribución para hacer parte de esta mitigación.

---

<sup>1</sup> PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS METROPOLITANO, Introducción.

**Figura 1.** Proyección de Residuos.



Fuente: PGIRS, Proyección de Residuos.

La Figura 1, nos proporciona información sobre la proyección del PGIRS con los diferentes proyectos a implementar en la ejecución de sus metas como disminución de impactos ambientales, aprovechamiento de desechos, reducción de la cantidad de residuos generados, culturizar los ciudadanos frente a temas como reciclaje, reconocimiento de organizaciones de reciclaje, todos estos planes y más me permiten proyectar en la gráfica una disminución del volumen de los residuos hasta de un 42% de la disposición final.

El PGIRS contempla metas como sensibilización, educación y participación comunitaria, almacenamiento y prestación de los residuos sólidos, recolección y transporte de los residuos sólidos, barrido y limpieza de vías y áreas públicas, disposición final, recuperación, aprovechamiento, y comercialización, servicios especiales, mejoramiento de la gestión comercial del prestador del servicio, fortalecimiento institucional.

De manera eficiente y eficaz el plan debe controlar dichas disposiciones a las diferentes empresas en ejecución de estas actividades, además de implementar mecanismos de contingencia frente a situaciones inesperadas que interrumpan el

adecuado funcionamiento, por ello la implementación de tan importante plan en el mejoramiento del desarrollo operacional de un relleno sanitario.

### **3.1.2. Plan de Ordenamiento Territorial Girón (POT)**

El planificar y ordenar un determinado territorio es la función básica del POT, se encuentra generalmente conformado por componentes físico-biótico, económico, socio-cultural, funcional espacial y político administrativo, todos estos ámbitos pueden proporcionar información como población, etnias, nivel educativo, lugares de posibles eventos o fenómenos meteorológicos, y tectónicos. Esta información me permitirá ejecutar desarrollo sostenible en los diferentes ámbitos, promocionando ubicación y regulación de asentamientos humanos.

El POT me proporciona información de las áreas de expansión territorial, lo que me conlleva a la evaluación de distancias delimitadas para la ubicación del relleno a tener en cuenta áreas de influencia y afectaciones a la población, de igual manera la ubicación de zonas industriales, conformación de los suelos, climatología de la zona, descripción del municipio como actividades comerciales, agricultura y comercialización de la misma, fauna y ecosistemas naturales que presenta el municipio.

El POT cuenta con la ayuda de bases de información como en el caso de Girón de Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) Seccional Santander, Cámara de Comercio de Bucaramanga, Casa de la Cultura Francisco Mantilla de los Ríos, Corporación Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Departamento de Impuestos y Aduana Nacional (DIAN), Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Electrificadora de Santander, Gobernación de Santander, Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), INGEOMINAS y Universidad

Industrial de Santander (UIS). Todas estas entidades más la eventual participación de líderes de la comunidad conforman el desarrollo del POT, siendo una de las fuentes de información más fehacientes para el desarrollo y ejecución de un relleno sanitario no solo como diseño y operación sino también para contrarrestar y prevenir problemáticas y afectaciones ambientales a la comunidad o al desarrollo de la industria.

### **3.1.3. Licencia Ambiental**

Se entiende como licencia ambiental al documento otorgado por la respectiva autoridad competente al interés de la persona, certificando el proyecto desde el punto de vista ambiental cuenta con requerimientos a cumplir para el desarrollo del proyecto de interés.

Si dentro de las actividades a ejecutar se genera deterioro de los recursos naturales renovables, al medio ambiente, o que se generen modificaciones considerables al paisaje, este debe ser regulado por la entidad que otorga la licencia ambiental para prevenir, mitigar, corregir, compensar, y manejar los efectos ambientales del proyecto de interés.

La licencia contara con los requerimientos como permisos, concesiones, autorizaciones, aprovechamiento o afectación de los recursos naturales renovables, según sea el caso para el desarrollo y ejecución de la obra o actividad. La licencia ambiental deberá ser otorgada antes de ejecutarse el proyecto, ni requerirá más de dos licencias la misma actividad u obra. Se otorga la licencia por la CDMB al municipio de Bucaramanga y su área metropolitana a las actividades donde se realicen emisiones atmosféricas, vertimientos de líquidos, concesiones de agua y aprovechamientos forestales.

### **3.1.4. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS – 2000)**

En la sección II del título F encontramos diferentes aspectos vinculados en los procesos de operación, diseño y construcción de un relleno sanitario fijando criterios básicos y requisitos mínimos, tomando en cuenta factores como la seguridad, la durabilidad, la funcionalidad, generando un mayor desarrollo de calidad, eficiencia y sostenibilidad. El título F guía el desarrollo de los cálculos para la producción per cápita, en los parámetros de diseño de un relleno sanitario como la recolección, transporte, y depósito de los residuos sólidos, actividades como incineración o sistemas de aprovechamiento, manejo y depósitos de residuos peligrosos, todos estos aspectos hacen parte de un sistema de aseo urbano.

**Tabla 1.** Contenido Titulo F, RAS – 2000.

<b>Componente</b>	<b>Capítulo</b>
Aspectos generales	F.1
Población y demanda	F.2
Recolección, transporte y estaciones de transferencia	F.3
Aprovechamiento	F.4
Incineración	F.5
Rellenos sanitarios	F.6
Residuos peligrosos	F.7

Fuente: RAS-2000, Sección II del título F.

### **3.1.5. Decreto 838 de 2005**

Este decreto me muestra diferentes limitaciones que me proporcionan un rango de seguridad o de mitigación y prevención frente a problemáticas que se puedan presentar en la operación de un relleno sanitario, como la asignación de la pendiente del talud para lograr la estabilidad del mismo.

Parámetros que se deben tener en cuenta para la selección y para el control del relleno sanitario, pero estos se ven condicionados por la operación y construcción del relleno sanitario, por los inconvenientes operacionales que se deberán tener proyectados dentro del desarrollo del sitio de disposición.

El decreto parte mencionando definiciones fundamentales relacionadas con la disposición final de los residuos sólidos facilitando la planificación de un relleno sanitario, luego de los diferentes condicionamientos a tener en cuenta para la selección del sitio adecuado, y la disposición final del relleno.

### **3.1.6. Normatividad expedida sobre la materia por la unidad administrativa especial de la aeronáutica civil**

Con el fin de garantizar la seguridad aérea y reducir el peligro aviario en los aeropuertos de mayor incidencia en Colombia, la Aeronáutica Civil viene reforzando las labores que tienden a la disminución, control y seguimiento del programa de prevención de peligro aviario. Se debió modificar el numeral 6 del artículo 88 del Decreto 1713 de 2002, para impedir que se ubiquen en los aeródromos o cercanías, vertederos de basura u otro motivo que genere la atención de aves, ya que la citada norma ha propiciado la generación de rellenos sanitarios en cercanías de los Aeropuertos por cuanto establecía que: “En aeropuertos donde maniobren aviones de motor a turbina y aviones de motor a pistón, las distancias mínimas serán 3.000 m y 1.500 m, horizontales respectivamente”.

Debido a los atentos a la seguridad operacional del transporte aéreo colectivo, se adoptó la resolución No. 3152 del 13 agosto de 2004, la UAE de Aeronáutica Civil, adopto normas relativas al peligro aviario como obstáculo para la seguridad

de la aviación, y se adiciono a la parte sexta de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia RAC.

Donde la resolución 3152 de 2004 cita: “Además de los obstáculos descritos en el Capítulo anterior, constituye obstáculo o impedimento para la aviación toda construcción, plantación, instalación o actividad, ubicada en las inmediaciones de los aeropuertos, dentro de un radio de 13 km a la redonda, contados a partir del punto de referencia de aeródromo – ARP que aún sin constituir un obstáculo físico permanente, impidan el vuelo seguro de las aeronaves en inmediaciones de los aeropuertos y durante su aproximación y salida de los mismos y particularmente cuando dichas instalaciones o actividades puedan ocasionar la presencia de aves en las áreas descritas (peligro aviario), con el consecuente riesgo de colisión contra las aeronaves, poniendo en peligro la seguridad del vuelo y la vida y bienes de personas a bordo o en la superficie.”

### **3.1.7. Reglamento Operativo**

Este documento me proporciona la ejecución de actividades que generen un control apto del conjunto de operaciones a realizar dentro del relleno sanitario, haciendo las actividades que proporcionen un desempeño óptimo de la disposición de residuos. Este conjunto de actividades debe realizarse de forma eficiente y eficaz, puesto que se deben tener en cuenta parámetros determinantes en la toma de decisiones como por ejemplo el no permitir que se genere saturación de lixiviados, aliviar la presión de gases y percolado.

Siendo estas actividades de máximo cuidado y seguimiento se presenta el reglamento, plan o manual operativo, en desarrollo de procesos óptimos y viables dentro del relleno sanitario.

## **3.2. EXPERIENCIAS NACIONALES**

### **3.2.1. Bogotá**

Siendo la capital colombiana y la ciudad más poblada, Bogotá ha lidiado por muchos años con el manejo de basuras utilizando diferentes modalidades a través del tiempo; empresas públicas y privadas han prestado sus servicios de aseo puesto que para Bogotá los residuos sólidos siempre han sido un problema debido al gran consumo que existe por parte de sus habitantes. En el periodo de la conquista, las basuras se arrojaban a las fuentes hídricas y a las zonas verdes de la ciudad, afectando enormemente a la flora y fauna de nuestro medio ambiente sin causar en nosotros una leve preocupación por tales hechos.

El ritmo desmesurado de crecimiento de los residuos ascendió con el nivel de evolución de la ciudad obligando a sus líderes municipales a definir y a destinar tres botaderos tomando como transporte los carros tirados por animales. Desde cocer la basura, alimentar cerdos hasta producir abonos o quemarla con petróleo han sido las ideas contempladas y llevadas a cabo por el gobierno para una 'rápida' solución.

La EDIS, Empresa Distrital de Aseo, creada por el concejo de Bogotá en 1958, se encargó de las principales funciones de limpieza junto con la recolección de basuras. Casi 13 años después, la EDIS realizó dos estudios para determinar el uso y la disposición final; siendo el primero el que definía la cantidad de basuras de acuerdo a la clasificación de materiales y el segundo estudio el que recomendaba la construcción de un relleno sanitario. Declarada la emergencia sanitaria y la paralización de la EDIS por parte de sus trabajadores, el distrito autorizó una serie de contrataciones con particulares para prestar el servicio a la capital colombiana dividida en dos zonas, el Potrero y Doña Juana. La UESP,

Unidad Administrativa Especial de Servicios Pública, toma las riendas de limpieza y conlleva a la liquidación de la EDIS.

El terreno seleccionado para la construcción del relleno sanitario, estaba ubicado cerca del cerro doña Juana, compuesto por zonas agrícolas y dedicadas a la explotación de canteras. Las vías de acceso se construyeron pero no la planta de aireación, y los filtros para captar y evacuar lixiviados eran insuficientes, pues no se hicieron estudios previos en cuanto a los caudales mínimos, medios y máximos de producción de lixiviados. Aunque la celda diaria cumplía con las especificaciones técnicas pues contaba con 5 metros de altura, una cobertura diaria de 0,3 metros y un terreno arcilloso para el depósito de desechos.

Uno de los problemas más grandes presentados en doña Juana, fue el derrumbe de 1997 ocasionado por la acumulación de gases dentro de la masa del relleno así como la presencia de lixiviados que aumentó la presión en el interior hasta el punto en que el río Tunjuelito fue taponado desacomodándose aproximadamente 3 millones de toneladas de basura. Otra causa del desastre fue la no especificación del grado de permeabilidad del suelo y la ausencia de un manual de operación del sistema. Como consecuencia del tan desafortunado evento, la operación del relleno cambió de administración, y se diseñó y construyó una planta de lixiviados capaz de realizar un buen tratado. En cuanto a los daños a la comunidad, el distrito se vio afectado por un valor de aproximadamente \$1270'000.000.

La experiencia para los habitantes de barrios y zonas semi-rurales cercanas al relleno, especialmente de las localidades de Usme, Ciudad Bolívar y Tunjuelito, fue muy desagradable incluso hasta meses después, ya que los olores eran insoportables, la proliferación de vectores (moscas, roedores) era incontrolable al igual que la generación de gases como el metano, el amoniaco, el ácido

sulfhídrico y los mercaptanos. Las enfermedades cada vez fueron mayores e iban desde las infecciones epidérmicas y respiratorias hasta las intestinales, afectando gravemente y especialmente a niños y ancianos que como sabemos siempre han sido los más vulnerables de toda comunidad.

Desde otro punto de vista, el manejo de las basuras en Bogotá se ha venido convirtiendo en un negocio que produce miles de millones de pesos anuales a las empresas encargadas de la recolección, operación y mantenimiento del relleno; de allí la falta de atención a la comunidad para una mejoría en su calidad de vida y para la no expansión del relleno cerca a sus hogares. El interés también es político y los altos mandatarios se excusan en la ampliación que el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) estipuló entre 300 a 500 ha más, lo que forzaría a la población aledaña a trasladarse al interior de la ciudad; entonces como su permanencia es vital, la licitación de su administración fue extendida hasta el año 2015. Es por esto, que cuando las autoridades tienen la intención de actuar, son afectadas tanto por la falta de continuidad en las políticas públicas como en los vacíos que persisten en las contradicciones de las normas ya que como anteriormente se dijo, pesa más el beneficio de unos pocos.

A pesar del incremento del reciclaje, todavía llega al relleno un alto porcentaje de basura que puede ser reciclada pero no lo es. Los laboratorios que producen los residuos peligrosos colaboran muy poco con el transporte, tratamiento y disposición de ellos. Hace falta la implementación de estudios de impactos negativos no sólo en la zona de influencia del relleno sanitario, sino en toda Bogotá, enfocándonos en el ámbito ambiental.

### **3.2.2. Medellín**

En la década de los 50's, la ciudad de la eterna primavera contaba con cerca de medio millón de habitantes, produciendo a su vez aproximadamente 100 toneladas de basura diarias que después eran arrojadas al río por la misma empresa que administraba los servicios de Plazas de Mercado, Matadero y la Feria de ganados. Posteriormente fueron llevadas a un lote ubicado entre el puente Colombia y la carretera al mar en la parte occidental de la región; allí se compactaban las basuras y se cubrían cuando hubiera tierra disponible; luego llevadas a otro lote en el sector de Moravia.

Al pasar los años, Medellín tenía una montaña de más de 400 metros de altura de desechos, la cual era inevitablemente fuente de infecciones para la población aledaña y de contaminación en general. Dándose cuenta del daño causado el gobierno adquirió una planta de separación de residuos y producción de compost, con sistemas de separación y bandas transportadoras electromagnéticas y clasificación manual, que operaba donde ahora es la zona de mantenimiento del relleno. La planta se clausuró en casi 5 años porque el compost era de mala calidad.

La Compañía Colombiana de Consultores hizo estudios y diseñó el relleno sanitario Curva de Rodas en septiembre de 1984, pero 6 meses antes se adecuó un relleno sanitario experimental llamado Plaza de Ferias en el que se depositaron 120 mil toneladas de residuos sólidos; Rodas podía recibir 12 millones de toneladas y tendría una vida útil de 22 años según la licencia otorgada. Se suponía que la separación de las basuras y el reciclaje se harían en la fuente. Los altos mandatarios del municipio esperaban esto sin antes culturizar a la comunidad y sin la concertación con aquellos que en su momento eran los habitantes del sector. Aunque Curva de Rodas fue clausurado entre el 2003 y el 2007, mientras las adecuaciones del Parque Ambiental concluían se convirtió en

un botadero a cielo abierto como lo fue el de Moravia en algún momento, hubo un descuido total y parecía que las basuras no se estuvieran tratando, pues los olores eran cada vez más intensos lo que atraía también a toda clase de roedores. Más adelante, en 2008 fue pos clausurado y desde el 2009 se han adelantado proyectos para el aprovechamiento de los gases de efecto invernadero.

Luego de clausurado Rodas, en el Parque Ambiental La Pradera o sencillamente en el Relleno Sanitario La Pradera, ubicado a 60 km de la capital antioqueña, entre Barbosa y Don Matías, se realiza la disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y algunas localidades vecinas. Con área de aproximadamente 360 hectáreas, La Pradera recibe diariamente entre 1800 y 2000 toneladas de basura. Inicialmente había dos divisiones, el Vaso de la Carrilera donde se destinaron los desechos hasta 2 años después y el Vaso de la Música que tendría una vida útil hasta el año actual.

La Pradera contempla soluciones a futuro posibilita la utilización de varias concavidades naturales para ser acondicionadas como sitios de disposición final por la gran capacidad volumétrica potencialmente aprovechable que poseen. Es por esto, que ahora se piensa en Vaso Altaír que está en proceso de licenciamiento ambiental y se espera que tenga una capacidad de 5.5 millones de metros cúbicos y una vida útil de 10 años y en Vaso Cumbre con capacidad de más o menos 10 millones de metros cúbicos.

La Infraestructura física de La Pradera está integrada por modernas instalaciones:

- Puente sobre estructura metálica con capacidad de carga superior a las 60 toneladas.
- Sistema interno de vías pavimentadas con amplias especificaciones técnicas.
- Sistema de pesaje conformado por dos básculas, con sistema electrónico incorporado y un software que procesa la información de inmediato.

- Planta de energía con capacidad para 300 KVA con red trifásica y subestación de energía que garantiza el funcionamiento del sistema.
- Instalaciones para el personal administrativo de la empresa y contratistas.
- Diversas áreas para la disposición final de residuos, aprovechables en un desarrollo secuencial del proyecto a largo plazo.

A pesar de las reformas y la completa planta física, la comunidad sigue viéndose afectada y por eso han venido apareciendo demandas frente a las autoridades locales, pues sienten que los derechos de la salud, de la vida y de la propiedad privada se ven constantemente perturbados por la incoherencia y la poca claridad en las políticas públicas acerca del tratamiento de residuos y del cuidado del medio ambiente. Las acciones judiciales no han sido de peso para cambiar la situación.

En diciembre de 2003, el relleno volvió a figurar en periódicos y medios informativos por la intoxicación de veintiuna operarias que inhalaron dióxido de carbono, las cuales realizaban la separación manual. Estos olores pueden percibirse hasta 2 kilómetros de diámetro del sitio. El relleno tuvo que someterse a investigaciones ordenadas por la Dirección Seccional de Salud de Antioquia y por Corantioquia, Corporación Autónoma Regional para el Centro de Antioquia, entidad pública que se ocupa de la ejecución de las políticas y programas sobre el medio ambiente y recursos naturales renovables, al igual que de las correctas aplicaciones a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, manejo y aprovechamiento, para analizar el estado del relleno.

También se presentaron una serie de accidentes ocasionados por los camiones transportadores de basura en la carretera que va hacia La Pradera y se comprobó que el cauce de la quebrada La Piñuela se ahogó por el vertimiento de lixiviados. Los reclamos de los médicos del hospital de Barbosa no se hicieron esperar, pues

las enfermedades abundaban en la población. Después de lo ocurrido, se dijo que la separación manual no continuaría en la planta y que se esperarían los resultados de un estudio que estaba en marcha por parte de la Universidad de Antioquia para el diseño de programas de clasificación y separación. Esta decisión fue obligada por una acción de tutela por un Juez de Cisneros, Antioquía.

Empresas Varias de Medellín, quien administra el relleno sanitario, ha logrado una mayor mitigación de riesgos desde el Vaso de la Carrilera. Asimismo hubo una mejoría en el tratamiento de los lixiviados y se estuvo vegetalizando los taludes para hacer más siembras; con los desfogaderos de gases se evita su propagación y la desestabilización del terreno. Con la constante fumigación en las viviendas del sector, se espera la erradicación de cualquier tipo de vectores.

Se aspiraba que los materiales orgánicos estuvieran aparte de los no orgánicos pero el procedimiento no fue efectivo. Conjuntamente, se sabía que los olores iban a ser más fuertes debido a la prohibición mencionada pues todavía los habitantes de la ciudad no le daban el correcto manejo a los desechos. De todas formas es claro que el relleno nunca pudo catalogarse como parque ambiental siendo ésta la idea original. Cabe mencionar que la expedición de algunas normas de prevención, motivación y sanción para la defensa del medio ambiente y el adecuado tratamiento de los residuos fue algo positivo para Medellín.

### **3.2.3. Bucaramanga**

La EMAB S.A y una compañía canadiense en 1977, después del estudio técnico realizado por George Rivoche experto en rellenos sanitarios; quien concluyó que la zona era apta para este fin. Cabe aclarar que en esa época la norma técnica no existía para estos procesos.

En 1978, El Carrasco entró en funcionamiento pero como botadero de basura a cielo abierto y no fue sorpresa el sinnúmero de problemas ocasionados por tal manejo. Se presentaron accidentes con los vehículos de carga, las calles eran llenadas de residuos que se dejaban caer; acentuando los olores, volviéndolos más penetrantes y desagradables para el entorno. Los incendios constantes hicieron que se pensara en otra metodología para llevar a cabo, además así lo requerían las autoridades ambientales nacionales. Debido a los continuos problemas relacionados con incendios, en pro de mejorar la disposición de los residuos, se dio lugar a una serie de variaciones importantes que se produjeron en 1985; el frente de trabajo cambió y se comenzó a rellenar una de las cañadas que se le dio el nombre de zona I de la cárcava I, pero hasta ahí, pues se operaba sin control, se generaban líquidos y se emitían gases.

De la pasada administración quedó un área supuestamente clausurada, sin embargo allí se encuentra una bomba que transporta el lixiviado hacia la planta de unos metros más arriba en donde sí bajan por gravedad estos líquidos.

## **4. PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE UN RELLENO SANITARIO**

### **4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO**

#### **4.1.1. Producción Per Cápita (cantidad basura/habitante)**

Es la unidad de medida de producción por habitante de la cantidad de basura que produce una población determinada a la prestación del servicio del relleno sanitario, de igual manera se pueden tener en cuenta otros aspectos como la

producción por vivienda o por cuadra. Para este concepto es necesario conocer la cantidad de habitantes en la actualidad, la velocidad de crecimiento, y su distribución geográfica. Este tipo de datos pueden ser proporcionados por entidades como el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE); además de tener claro que este sistema es equivalente a otros servicios públicos como alcantarillado, energía, compartiendo información necesaria correspondiente a características y capacidad económica y tendencias de crecimiento constructivo de la población. He aquí, la necesidad de proyección de la población incluyendo un análisis de información para así establecer y concluir la vida útil del relleno, junto a todos los servicios que conlleva su realización. Es entonces, donde nos referimos a la producción por persona, la relación de producción en kilogramos de basura diaria por habitante.

$$R = \frac{Y}{X}$$

*Y = cantidad total de basura en peso producida en un día por un número de habitantes.*

*X = número de habitantes que en un día produjeron Y cantidad de basura.*

#### **4.1.2. Peso Específico**

El peso específico es un dato de suma importancia en la determinación de volúmenes a transportar y almacenar en el relleno sanitario, en la capacidad de vertederos, en los equipos de recogida y demás. Los valores de peso específico se encuentran en constantes cambios pues siempre se adopta un mecanismo de compactación tanto en el transporte como en la disposición, para así reducir el espacio que uno de los principales problemas del relleno y mejorar el proceso de su desarrollo.

El peso específico está dado por la relación de masa y volumen, cantidad de basura y capacidad para almacenar, siendo esta la dependencia sobresaliente

para las mediciones de esta característica de las basuras, como por ejemplo el hacer perforaciones de 1 m x 1 m x 1 m en diferentes sitios de disposición; los residuos sólidos extraídos de mencionadas perforaciones se pesan y se comparan con el volumen del hueco, este método es mejorado forrando el hueco con un plástico, se llena de agua y así se conoce el volumen, sin necesidad de verter los desechos en el hueco.

**Tabla 2.** Peso Específico de Residuos en Diferentes Etapas.

<b>Almacenada dentro de la residencia</b>	<b>0,35 t/m<sup>3</sup></b>
<b>Cuando se entrega a la empresa recolectora</b>	<b>0,4 t/m<sup>3</sup></b>
<b>Dentro del vehículo compactador</b>	<b>0,6 t/m<sup>3</sup></b>
<b>Dentro del vehículo sin compactador</b>	<b>0,4 t/m<sup>3</sup></b>
<b>Al descargarla en el botadero de basura</b>	<b>0,4 t/m<sup>3</sup></b>
<b>En el botadero de basura después de dos meses</b>	<b>0,7 t/m<sup>3</sup></b>
<b>En el botadero de basura después de un año</b>	<b>1 t/m<sup>3</sup></b>

Fuente: HÉCTOR COLLAZOS PEÑALOZA, Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios.

Al determinar la densidad para el relleno sanitario este consta de factores como: el contenido de humedad en los residuos sólidos junto con su composición y características, diseño y condiciones de operación del relleno como equipo de compactación, número de pasadas y grado de humedad en el relleno, los procesos de descomposición, el peso del material de cobertura, influyen en el peso específico del sitio después de que los desechos se han depositado en el relleno.

El incremento de la densidad de los desechos se puede lograr mediante compactación, separación y recuperación de residuos como papel, cartón, plástico, vidrio, madera, y otros materiales de volumen considerable, la descomposición de

la materia orgánica y el peso de las capas entre celdas hacen disminuir su volumen, por consiguiente todos estos factores aumentan la densidad al igual que la vida útil del relleno.

#### **4.1.3. Parámetros Técnicos de Selección de un Relleno Sanitario**

La selección del sitio es uno de los procesos más complejos de concluir a cabalidad con las especificaciones técnicas establecidas por los parámetros colombianos, puesto que implica tanto una aceptación económica como comunitaria.

Dentro de la aceptación comunitaria encontramos problemáticas de rechazo del relleno sanitario correspondiente a poblaciones aledañas del posible sitio, ya que para nadie es de agrado tener un relleno sanitario cerca a su lugar de estadía, de semejante magnitud encontramos reacciones a las posibles tarifas del servicio, de cuán lejos puede encontrarse éste, y de las facilidades de acceso como vías en aptas condiciones.

En estos casos se debe encontrar un sitio con el menor impacto a la población, tanto en materia de salubridad como materia económica, y por ende se deben sacrificar unos pocos para el bien de todos, desarrollando planes de mitigación del impacto a las comunidades aledañas al posible relleno.

Se debe tener en cuenta el plan de ordenamiento territorial para determinar la delimitación del perímetro urbano la tasa de crecimiento de la población junto con las zonas propensas a expansión industrial y urbana, encontrando las posibles áreas aprobadas para la ejecución de la obra del relleno sanitario de acuerdo con los usos del suelo certificados por el concejo municipal.

Para que la población se pueda beneficiar de este proyecto es recomendable que comience a poblarse sus zonas aledañas cuando el relleno concluya con su vida útil y así se sienta favorecida por un parque o zona verde.

Teniendo en cuenta estos factores y el de la conservación de los recursos naturales del sitio podemos determinar los parámetros técnicos a tener en cuenta en pro de su elección como relleno sanitario:

- Geológicos
- Topográficos
- Hidrológicos
- Geotécnicos
- Ambientales

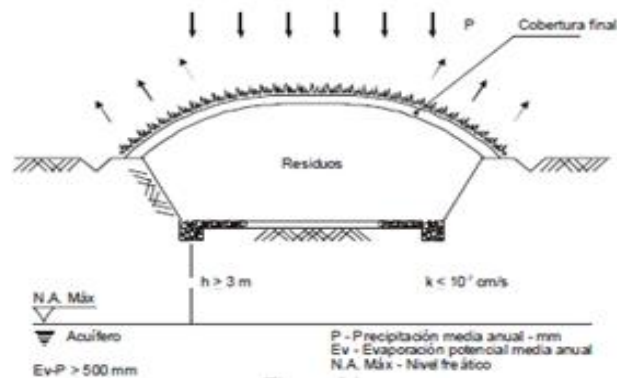
Dentro del ámbito geológico, necesitamos revisar qué estratigrafía se encuentra desarrollada en los posibles lugares, además de evitar potenciales zonas de fallas cercanas que atenten la estabilidad del relleno, también los desplazamientos de las infiltraciones de aguas para así evitar una posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas, este tipo de estudios pueden ser proporcionados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, en Colombia. Otro factor significativo es el conocimiento de la calidad del material de cobertura con un análisis de suelos y consecuentemente su estabilidad. Es importante conocer la morfología tanto del lugar a tratar como de sus alrededores, ya que sería de gran ayuda para determinar las zonas de acceso al sitio y la pendiente del terreno, que si deben generar dificultades de operación, sean las mínimas.

Conocer la precipitación pluvial esperada cada mes, al igual que la evapotranspiración potencial nos ofrecería un estudio para evaluar el efecto de estas precipitaciones las cuales deben sumarse a los lixiviados, estas precipitaciones pueden ser dadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales en Colombia (IDEAM), de las estaciones más cercanas encontradas al sitio de estudio, además de la revisión de flujos subterráneos, para impedir su contaminación.

Las condiciones climatológicas como la temperatura, la dirección del viento, la precipitación pluvial y la evaporación permitirán ejecutar un mejor diseño y conocimiento de las condiciones a las que se encontrara sometida la obra.

**Figura 2.** Condiciones Climatológicas e Hidrológicas Favorables.



Fuente: JORGE JARAMILLO, Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales.

En el ámbito ambiental encontramos dos situaciones fundamentales a evaluar, las cuales son: preservar el bienestar y salud de la comunidad, y el segundo es el preservar los recursos naturales como el suelo, el agua, el aire y el entorno de desarrollo del mismo, para el cumplimiento de estas dos condiciones se debe determinar el impacto ambiental y encontrar así acciones de mitigación.

Todos los parámetros mencionados anteriormente me complementan la ejecución del estudio geotécnico, ya que todos inciden en el suelo en su comportamiento o

alteraciones, por ello es nuestro principal enfoque en el análisis de los procesos de diseño, por ejemplo el espesor del suelo, textura, permeabilidad, humedad, PH, ente otros.

Mostrando la descripción de los principales parámetros en el análisis y evaluación de diferentes terrenos encontramos:

El tipo de suelo debe contar con una configuración de suelo areno-limo-arcilloso (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son apropiados los limo-arcillosos (franco-limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (franco-arenosos) porque son muy permeables.

La permeabilidad está determinada por la capacidad de absorción que tiene el suelo, la velocidad con que el agua puede infiltrarse mediante sus poros, sean estos finos o gruesos, de acuerdo al coeficiente de permeabilidad (k) puedo determinar la facilidad o dificultad de percolación del agua en los suelos y así determinar mi grado de dificultad operativa en el relleno, este coeficiente (k) puede ser determinado en campo.

**Tabla 3.** Coeficiente de Permeabilidad (k), Escala Logarítmica.

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente impermeable			
Relleno sanitario	Pésimo								Bueno			
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)	Arena limpia, arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla				Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
				Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización								

Fuente: JORGE JARAMILLO, Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales.

La tabla de aguas o nivel freático me muestra la superficie del agua saturada en el suelo, se prefieren los suelos bien drenados y con un nivel freático superior de un metro de profundidad en todas las épocas del año, de no presentarse esta condición estos suelos deberán ser drenados artificialmente. Dentro de esta disposición de condiciones de más de un metro de profundidad puedo obtener una buena cantidad de material de cobertura aportado por el terreno y utilizando el método de construcción de zanja. Lo contrario sería si se tuviera un terreno arenoso y la tabla de aguas a menos de un metro de profundidad, ya que se debe impermeabilizar el terreno y obtener el material de cobertura de otro sitio, incrementando costos. Los sitios seleccionados no deben tener líneas de alta tensión sobre ellos, evaluar la existencia de agua para consumo humano, junto con caminos y construcciones importantes. Los criterios de selección para la construcción del relleno sanitario debe estar ligado por:

El transporte debe resultar de fácil acceso por los incrementos en los costos de operación, permitiendo tener de igual manera el ingreso al relleno aspectos como un ingreso fácil, seguro y rápido en todas las épocas del año. Se debe considerar la impermeabilización del terreno cuando tenga altos grado de humedad o la permeabilidad del suelo sea alta, de igual forma si no se genera descomposición de los materiales no se producirá lixiviados y una reducción del material compactado.

“Se consideran algunos riesgos de cuidados especiales, tales como zonas de reservas arqueológicas, conservación del paisaje, terrenos con deslizamientos o asentamientos y, en particular, el riesgo sísmico; el diseño deberá cumplir con las normas de sismoresistencia.”<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> DISEÑO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS, Héctor Collazos Peñaloza, 3ª. Edición. Pág. 55

Es de vital importancia conocer que zonas no son aptas ni apropiadas para la disposición de un relleno sanitario debido a su función ejecutada tanto en el sitio como tal, como en sus alrededores. Los casos más comunes presentados son:

Distancia mínima del sitio de disposición a la zona urbana está dentro de los mil 1.000 metros de distancia horizontal, con respecto al límite del área urbana o suburbana, incluyendo zonas de expansión y crecimiento urbanístico, distancia que puede ser modificada según los resultados de los estudios ambientales específicos.

La distancia entre el aeropuerto comercial y el punto seleccionado es importante ya que en el relleno sanitario se van a depositar residuos de alimentos tanto domiciliarios como de algún proceso industrial, pues estos pueden atraer pájaros en un radio de varios km. Si la operación del residuo es apropiada el problema puede ser disminuido.

Se recomiendan distancias de 8 km., sin embargo, este valor puede ser reducido si es justificado y se deberá cumplir con la normatividad expedida sobre la materia por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil o la entidad que haga sus veces.

Para las fuentes de agua subterránea la infraestructura instalada, deberá estar ubicada a una altura mínima de cinco 5 metros por encima del nivel freático, para aguas superficiales la distancia entre la carga de los residuos y el curso de agua superficial más cercano, debe ser a lo mínimo de 100m el equivalente a la regulación correspondiente. Estos parámetros dependerán fundamentalmente de las condiciones hidrogeológicas del sitio.

Se debe procurar que las áreas para disposición final, no estén ubicadas en zonas que puedan generar asentamientos que desestabilicen la integridad de la infraestructura allí instalada, como estratos de suelos altamente compresibles, sitios susceptibles de deslizamientos y aquellos donde se pueda generar fenómenos de carsismo.

En el sitio de disposición final de residuos sólidos, se deberá tener en cuenta el nivel de amenaza sísmica del sitio donde se ubicará el relleno sanitario, así como la vulnerabilidad del mismo.

#### **4.1.4. Asentamientos**

La composición de los residuos, diseño y operación del relleno como el grado de compactación y la altura del mismo, son indicadores de evaluación de los asentamientos los cuales son uno de los principales problemas operativos encontrados, debido a que su cambio en el tiempo repercute en la ejecución del relleno, se encuentran asentamientos diferenciales en la superficie que ocasionan depresiones además de grietas de diferentes tamaños; los asentamientos repercuten en aspectos estructurales y también en el aprovechamientos de volumen del relleno.

Durante el diseño los asentamientos son uno de los problemas más evidentes y más fáciles de controlar con una buena ejecución de la compactación, cabe resaltar que en la operación del relleno se debe hacer lo suficientemente manejable como para corregir o cambiar las acciones planificadas en pro del mantenimiento a las generadas por el diseño.

El incremento y la magnitud de los asentamientos no son uniformes a medida que transcurre el tiempo, generándose un impedimentos a largo plazo del uso del

relleno sanitario en su estado clausurado, siendo consecuente la reacción de los residuos donde a mayor concentración de los desechos orgánicos y mientras más profundo sea el relleno, mayor serán los asentamientos.

La tasa de crecimiento de los asentamientos puede depender primordialmente de la descomposición de los residuos sólidos, cuando el grado de compactación y el tipo de residuos sólidos son semejantes.

## **4.2. CONSTRUCCIÓN**

### **4.2.1. Tipos de Relleno Sanitario**

Se encuentran rellenos sanitarios acordes con la cantidad de población, además de la capacidad de adquisición de la misma, para así obtener una obra acorde a las necesidades requeridas, por lo tanto se encuentran rellenos como:

- **Relleno Sanitario Mecanizado:** se encuentra diseñado para las grandes ciudades con poblaciones aproximadamente de 40.000 habitantes que me generen más de 40 toneladas diarias, debido el gran manejo de residuos se requiere tecnología y diseños exigentes, la disposición de un terreno amplio hacen que mis costos de operación y mantenimiento se eleven.
- **Relleno Sanitario Semi Mecanizado:** cuando la población me genere basuras alrededor de 16 a 40 toneladas diarias, requiriendo maquinaria pesada como soporte al trabajo manual.
- **Relleno Sanitario Manual:** generalmente son poblaciones que producen menos de 15 toneladas diarias y que no se encuentran en condiciones de adquirir maquinaria pesada, por lo tanto la ejecución de la compactación y

confinamiento se encuentra desarrollada por una cuadrilla de hombres y algunas herramientas.

#### 4.2.2. Métodos de Construcción de un Relleno Sanitario

Existen cuatro métodos de disposición de rellenos sanitarios, se encuentran: tipo rampa, tipo trinchera, tipo área y combinación de área y rampa. Los cuatro tienen características semejantes y de acuerdo a la topografía del terreno se seleccionara uno acorde al sitio escogido.

##### 4.2.2.1. Método de Trinchera

Este método como su mismo nombre lo indica se trata de la construcción y elaboración de una trinchera o zanja, se realiza comúnmente en terrenos planos. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para así utilizarla como material de cobertura, los residuos se depositan y adecuan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra.

**Figura 3.** Método Trinchera.



Fuente: Autoría Propia.

Se evidencia el riesgo de acumulación de aguas lluvias inundando posiblemente la trinchera, lo cual me indica la construcción de canales en los perímetros o elaborar drenajes internos según sea el caso, desviando las aguas y cuando se presente situaciones extremas requerir bombeo.

Donde se encuentren suelos particularmente cohesivos son favorables para la realización de zanjas, ya que se podría incrementar el ángulo de inclinación de los taludes, y así, minimizar el espacio de separación de trincheras aledañas.

Las zanjas se hacen de dos a tres metros de profundidad, de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo, tipo de equipo y costos de excavación, de ancho por lo menos el doble de la cuchilla del equipo, este ancho es ventajoso para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y material de cobertura, lo cual involucra rendimiento del trabajo, de tal manera que puede ser planificada la operación dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los desechos sólidos. Dependiendo del grado de compactación y del clima, puede usarse la superficie de una zanja terminada para la descarga de los desechos. El largo está limitado por el tiempo de duración o vida útil de la zanja.

#### **4.2.2.2. Método de Área**

“Se emplea por lo general en terrenos relativamente planos, con depresiones y hondaduras naturales o artificiales, tales como canteras abiertas producidas por extracción de materiales como arcilla, arena y grava.”<sup>3</sup>

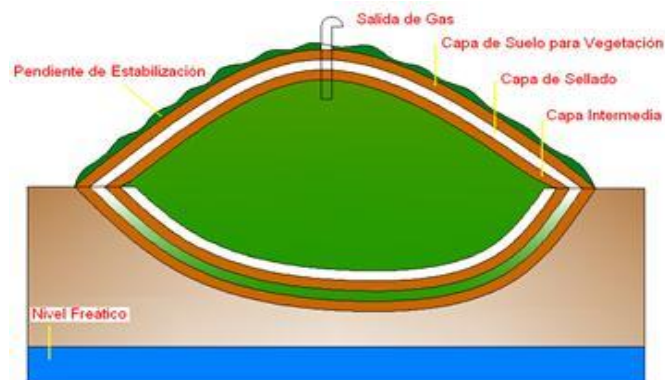
---

<sup>3</sup> DISEÑO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS, Héctor Collazos Peñaloza, Figura 4. Método de área

La calidad del suelo y la presencia de aguas subterráneas impiden la ejecución de excavaciones, por lo tanto el material de cobertura debe ser obtenido de la capa superficial o transportado desde otros sitios, se debe establecer una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleve el relleno. En depresiones naturales o canteras abandonadas se toma la pendiente proporcionada por el terreno, donde la basura se deposita hacia la base del talud, se extiende y se comprime contra él, realizando el respectivo cubrimiento con una capa de tierra.

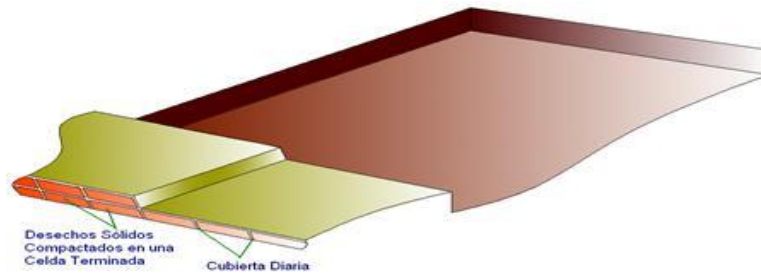
Generalmente la elaboración de del llenado del relleno en este método, inicia con la construcción de un terraplén contra el cual se van a depositar las basuras en capas delgadas. La longitud del área de descarga varia con las condiciones del sitio y el tamaño de la operación, al igual que el ancho donde se van a compactar los desechos. Una elevación completa del terraplén incluyendo el material de recubrimiento, es a lo que llamamos celda, así colocando sucesivas celdas, una sobre otra hasta alcanzar la altura final del plan de desarrollo del relleno. La longitud del área de descarga usada cada día debe ser tal que la altura última de relleno se alcance al final de cada día de operación.

**Figura 4. Método de Área.**



Fuente: Autoría Propia

**Figura 5. Método de Área.**

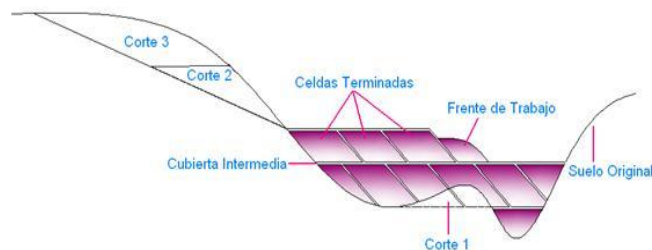


Fuente: Autoría Propia

#### **4.2.2.3. Método Rampa**

Este método es una adecuación del método tipo área, donde la cobertura de tierra se excava del suelo que está en la zona que va a ser rellenada. Operacionalmente se desarrolla de igual manera al método del área y son cubiertos con tierra removida de la base de la rampa, lo cual disponemos de una pequeña cantidad de material de recubrimiento, pero se debe complementar obteniendo material de sitios aledaños, obteniendo un posible aumento de costos de operación y mantenimiento, por lo cual se debe realizar un detallado estudio de factibilidad económica. La problemática mencionada me impide la generalización de uso de este método, por lo cual es poco utilizado, y teniendo en cuenta la disponibilidad de terreno y la topografía que este me presente.

**Figura 6. Método de Rampa.**



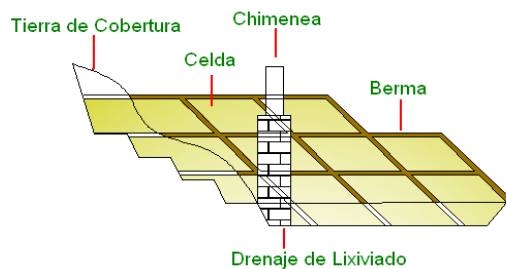
Fuente: Autoría Propia

#### 4.2.2.4. Método Combinado de Área y Rampa

Este se evidencia en donde el relleno es de gran proporción con terrenos extensos, donde su topografía sea variable y no se pueda asegurar a fondo que método a cabalidad utiliza.

Los residuos depositados son extendidos sobre una rampa o talud, donde se compactan y recubren, el talud debe tener aproximadamente 30 grados de inclinación, el método de rampa es utilizado en partes donde el terreno se encuentre con declives moderados y con accesibilidad de material para recubrimiento o puede ser implementado como sello del relleno.

**Figura 7.** Método Combinado de Área y Rampa.



Fuente: Autoria Propia

**Figura 8.** Método Combinado de Área y Rampa. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: EMAB S.A. E.S.P

**Figura 9.** Método Combinación de Área y Rampa. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: EMAB S.A. E.S.P.

#### **4.2.3. Especificaciones del Proceso Constructivo**

Para un buen desarrollo del proceso constructivo, junto con un terreno definido se debe presentar y tener un adecuado levantamiento topográfico del terreno, visualizando la extensión del terreno, su diferencia de alturas, identificación de los terrenos vecinos, el lindero, la vía principal, los caminos de acceso, y la localización del banco de material, entre otras.

En la ejecución del diseño se debe reconocer la entrada y salida de vehículos, la morfología que se desarrollara en el relleno durante el tiempo, evacuación de los lixiviados, obtención del material de cobertura y manejo del frente de trabajo. Este debe llevar la delimitación del área total además del método constructivo a desarrollar, vida útil del relleno, uso futuro, material de cobertura y obras de infraestructura, además del costo global estimado del proyecto. Se deben presentar obras de acceso, drenajes principales, disposición en planta de las obras de infraestructuras y construcciones auxiliares.

**Tabla 4.** Pasos Necesarios para Diseño, Construcción y Operación.

<b>1</b>	<b>ESTUDIOS DE CAMPO Y DISEÑOS</b>
1.1.	Identificación del sitio por rellenar y sus alrededores
1.2.	Análisis de las condiciones hidrogeológicas
1.1.	Levantamiento topográfico
1.1.	Elaboración del diseño
1.1.	Análisis de costos
1.1.	Presentación del proyecto a las autoridades
<b>2</b>	<b>PRESENTACIÓN DEL TERRENO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS</b>
2.1.	Limpieza y desmonte
2.2.	Construcción de la vía de acceso directa
2.3.	Encerramiento del terreno
2.4.	Siembra de los árboles del perímetro
2.5.	Construcción del drenaje perimétrico
2.6.	Preparación del suelo del Soporte
2.7.	Construcción de drenajes internos
2.8.	Preparación del drenaje de gases
2.9.	Construcción de la caseta de control e instalaciones sanitarias
2.10.	Excavación de pozos de monitoreo
2.11.	Diseño y ubicación del cartel de identificación
2.12.	Visita de los líderes de la comunidad vecina
<b>3</b>	<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>
3.1.	Adquisición de herramientas
3.2.	Compra de los elementos de protección de los trabajadores
3.3.	Inicio de la operación del relleno
3.4.	Clausura del relleno
3.5.	Mantenimiento permanente
3.6.	Preparación de presupuesto anual

Fuente: Autoría Propia.

La estimación de la población actual junto con la población futura, donde esta última debe tener como mínimo un rango alrededor de 5 a 10 años de vida útil, me

ayudaran a designar el área y volumen a utilizar junto con la producción diaria de basuras por habitante. Con la estimando la producción total se puede designar la frecuencia de recolección de las basuras, las rutas, la cantidad de personal y el saber cuánta área necesito para el tratamiento y disposición final, además de los costos y la tarifa de aseo.

Conocer los promedios mensuales de precipitación, el número de días mensuales con lluvia, los promedios diarios y de cada mes de la evaporación y evapotranspiración potencial, los promedios diarios de basura que se generan en la actualidad y la proyección futura durante la ejecución del relleno.

### **4.3. OPERACIÓN**

#### **4.3.1. Bases Fundamentales de un Relleno Sanitario**

Cabe resaltar que se deben tener parámetros de ejecución como prevención o adecuación para el control y desarrollo de la operación del relleno sanitario las cuales pueden tener en cuenta las siguientes:

Mantener en lo posible la impermeabilización del relleno evitando el ingreso de aguas de escorrentía con su respectiva desviación. Generar una supervisión constante de la operación con el fin de mantener altos parámetros de calidad en la ejecución de actividades como descarga, cobertura y compactación. Para desarrollar una mayor estabilidad se deben disminuir los problemas de hundimiento para ello la determinación adecuada de la altura de la celda diaria y su cubrimiento diario, al igual que la compactación para un incremento de la vida útil del relleno logrando un aumento del peso específico.

Como protección del medio ambiente es indispensable desarrollar y mantener en óptimas condiciones el drenaje de lixiviados y de aguas lluvias. Proporcionar una capa de cubrimiento de espesor adecuado de aproximadamente igual al de material de cobertura de cada celda, para todo el relleno en la etapa de clausura para que así se pueda generar y sostener la vegetación.

#### **4.3.2. Consecuencias Generadas por el Relleno Sanitario**

Estas consecuencias se encuentran ligadas con el desarrollo o evolución del clima con el tiempo, el trayecto a las zonas pobladas, las dimensiones del relleno, la localización de este con respecto al área urbana, y del diseño y operación del relleno, donde este último me indica la capacidad económica de los habitantes.

Cuando el relleno sanitario es clausurado no se deben realizar edificaciones, infraestructuras pesadas, debido al problema de hundimientos y la generación de gases que continuamente se presentan en la operación y después del cierre, por lo cual siempre se debe procurar desarrollar obras a cielo abierto como parques o campos deportivos, de igual manera la siembra de plantas que no desarrollen raíces largas para el desarrollo de dichas obras.

Toda ejecución de una obra genera unas reacciones estas son tales que me pueden generar un impacto ambiental sin el debido seguimiento, en este caso se contemplaran procesos tanto internos en el relleno como externos.

Podemos clasificar entonces diferentes reacciones como:

- Física: uno de los principales factores desestabilizantes en un relleno sanitario son la generación de asentamientos y hundimientos, en donde estos pueden ser generados por grietas en la cubierta o por fisuras, permitiendo que el agua

lluvia ingrese en el relleno, estas grietas se producen a causa del gas que se encuentra atrapado. Estos cambios mencionados vienen relacionados con: la compactación, ingreso de agua junto con el movimiento de los líquidos interiores y hacia el subsuelo, la expansión de gases dentro y fuera del relleno, y los asentamientos por consolidación y descomposición de la materia orgánica.

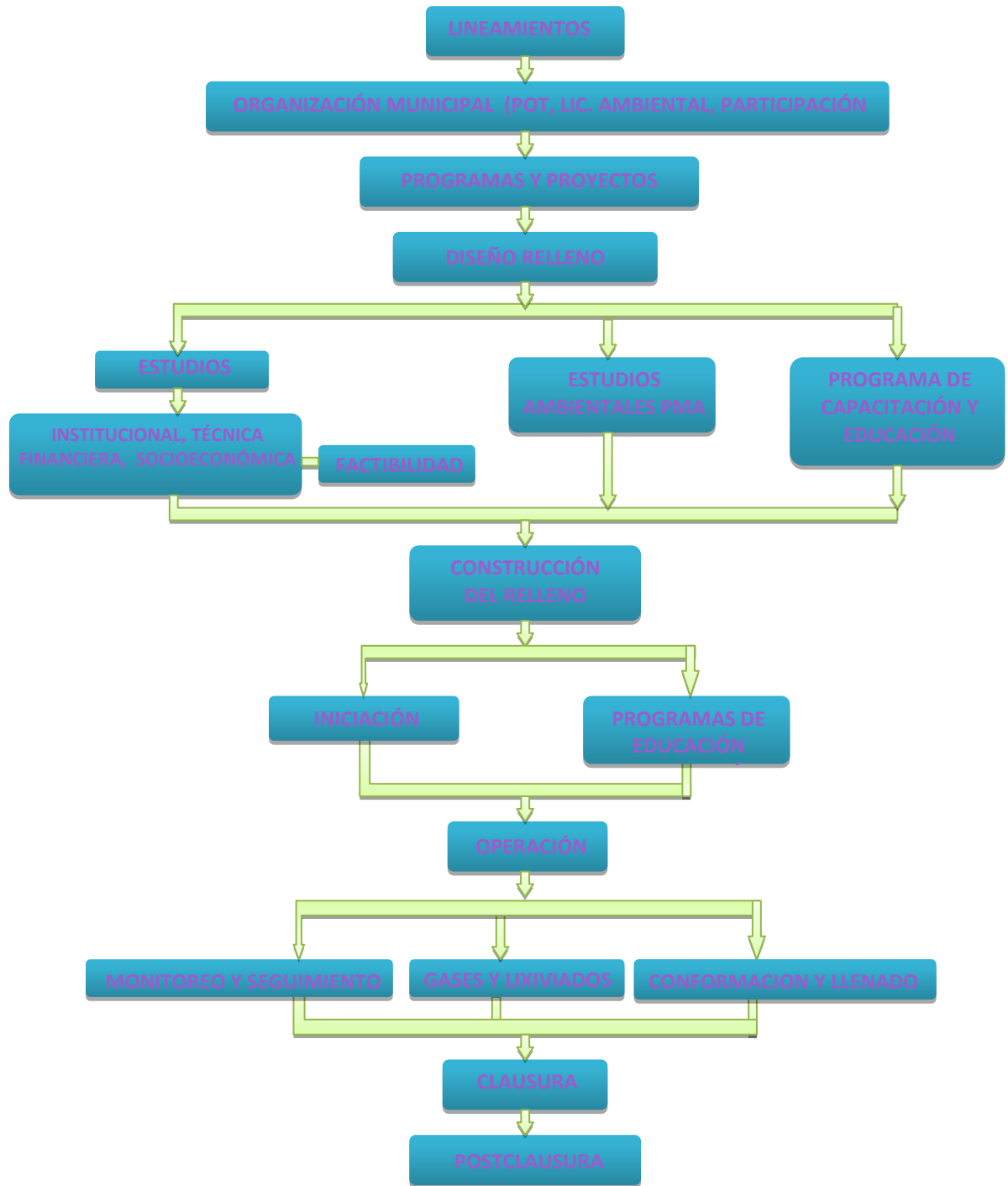
- Químicas: descomposición de residuos orgánicos, evaporación de compuestos químicos, reacciones que afecten la disolución de metales como oxido – reducción controladas por el nivel de oxígeno en el relleno sanitario donde los materiales ferrosos son sensibles a estas reacciones, los cambios del pH son una derivación de ácidos orgánicos y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) generados por los procesos biológicos y disueltos en agua provocando cambios en la absorción de los materiales. La solubilidad de varios compuestos depende del pH y la cantidad de agua que penetra en un relleno sanitario, la absorción de compuestos orgánicos volátiles que comúnmente son depositados sin ningún control en los países en desarrollo del mejoramiento de la técnica de relleno sanitario. De todas estas alteraciones encontramos un marco significativo como es el transporté de todas estas descomposiciones fuera del relleno sanitario mediante los lixiviados.
- Biológicas: se presenta por microorganismos aerobios y anaerobios dentro del relleno sanitario después de ser cubiertos los residuos y teniendo en cuenta que biológicamente se presenta en un ambiente dinámico, la fase aeróbica se presenta por el proceso de descomposición, consecuentemente el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) empieza hacer consumido generando bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) , terminado el  $\text{O}_2$  se sigue generando la descomposición ya sin este y este proceso recibe el nombre de fase anaeróbica, obteniendo como resultado metano ( $\text{CH}_4$ ),  $\text{CO}_2$  y cantidades menores de ácido sulfúrico y amoniaco.

### *Líquidos y Gases*

El lixiviado es un líquido natural producido por la descomposición de los residuos, se destaca por su color negro y de mal olor, se encuentran altas concentraciones de contaminantes orgánicos y nitrógeno amoniacal, microorganismos patógenos y sustancias tóxicas que pueden estar presentes, se asemejan a las aguas residuales domésticas pero estas en menor concentración. La anaerobia es el proceso que prevalece en el relleno sanitario, puesto que en la etapa anterior llamada aerobia realiza un consumo completo de oxígeno y el relleno que se encuentra cubierto no hace posible que el  $O_2$  circule libremente, por lo cual se genera la producción de metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ) así como pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), amoniaco ( $NH_3$ ), donde las dos últimas generan el olor fétido.

Una de las características del gas metano es ser inodoro e incoloro además de ser inflamable y explosivo si se concentra en el aire en una proporción de 5 a 15 % en volumen, también su composición como gas hace que este ocupe espacios vacíos dentro del relleno y siempre desea escapar a la superficie, por lo cual se debe tener zonas que aireen el relleno permitan una circulación fuera de él y no se genere ningún riesgo de explosión.

**4.4. DIAGRAMA GENERAL DE UN PROCESO PARA LA CONSTRUCCION DE UN RELLENO SANITARIO**



## 5. POSIBLES SOLUCIONES

### 5.1. RECOMENDACIONES GENERALES

Desde siempre se han tenido problemas con la disposición final de residuos. La contaminación a través de los años se ha vuelto cada vez más agresiva pero se inició desde la selección del terreno.

Para el relleno Doña Juana que le quedan casi 4 años de operación, es necesaria la implementación de un mayor número de instrumentos, herramientas y planes desde seguimiento hasta contingencia, pensando en su futuro cierre y posterior clausura. También se ve necesario el aumento de la capacidad de la planta de tratamiento, y el aprovechamiento del biogás para distintos fines como el de suministro de energía. Siendo una de las ciudades que recibe más agua lluvia durante el año, y teniendo una buena planta de tratamiento, ha quedado grande el manejo y control de estos líquidos. Una muestra de esto es el vertimiento que le llega al río Tunjuelito.

En el caso de Medellín la siembra de árboles en los alrededores permitiría mantener control sobre los olores que se propagan así como la mitigación del CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de metano procedimiento obligatorio para evitar el efecto invernadero, de igual manera el cubrimiento del material de cobertura final con espesor de la capa adecuada para evitar la proliferación de malos olores y la siembra de manto vegetal como protección y ahuyentar la propagación de vectores como roedores, insectos, etc.

En general un correcto drenaje de lixiviados, tanto en la base del talud como el suministrado por las capas de material de cobertura debido a que un índice de permeabilidad muy alto puede hacer que los lixiviados se concentren en alguna

zona interna del talud aumentando la presión y acentuando la zona de falla, también se deben aumentar los canales perimetrales para que el flujo de escorrentía no se infiltre en las basuras y no aumente el volumen de líquido percolado. Una buena compactación de los residuos, con una previa caracterización de los mismos y una mejor calidad de material de cobertura ayudaría a la estabilidad de los taludes. La falta de monitoreos constantes de gases también hace parte de los factores que afectan el talud.

Deben mantenerse constantemente cubiertas las basuras para no alimentar la presencia de vectores principales indicadores de contaminación en la población aledaña, así como la propagación de olores. Es inevitable el crecimiento de una ciudad y más de una capital por las frecuentes migraciones, y por consiguiente inevitable la producción de residuos.

## **5.2. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS**

El comportamiento del suelo a medida que pasa el tiempo va tomando las características que proporcionan los residuos; por ejemplo su descomposición biodegradable debido a las bacterias y la humedad que producen después del confinamiento, hacen parte de los aspectos que conforman un relleno, y que lo llevan a comportarse con un todo.

Dicho esto, la resistencia del suelo tanto a la tracción como al esfuerzo cortante se origina de los esfuerzos totales menos la presión de poros, de la misma manera y de la mano trabaja la rigidez. Al ir disminuyendo la proporción de las basuras por su transformación en líquidos y gases, lo cual hace que los esfuerzos efectivos ya no se eleven y tiendan por el contrario a decrecer; también se van disminuyendo la resistencia y la rigidez. La saturación dada por los lixiviados y gases y con una

disminución del peso específico de las basuras me generara movimientos peligrosos.

El correcto, seguro y rápido manejo de los lixiviados y extracción de gases podría incrementar en un mediano porcentaje la resistencia del suelo. En cuanto a la rigidez las geomembranas de las mejores calidades juegan un papel importante y ayudan a conservarla un periodo un poco más largo.

La resistencia al corte de las basuras se puede puntualizar con la fórmula de Mohr- Coulomb que a continuación se muestra y que se describe con parámetros como el esfuerzo normal efectivo, su ángulo de fricción interna, cohesión y presión de poros.

$$s = c' + \sigma' \tan\Phi'$$

En algunas ocasiones los tubos de extracción se encuentran obstruidos por desechos y por el mismo lixiviado conducido, generando un impedimento en la circulación libre del gas disminuyendo la resistencia al corte del terreno.

Se debe garantizar la permanencia de los puntos de control ya que el crecimiento del relleno, su geometría y el movimiento constante de residuos también por la maquinaria pueden alterar la ubicación de dichos puntos los cuales generan una inconsistencia en la toma de datos de asentamientos.

Definitivamente es necesario contar con una amplia dotación de aparatos de medición para un correcto control y seguimiento, como inclinómetros, piezómetros, tuberías basales colectoras de lixiviados, y demás.

## 6. REVISIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO “EL CARRASCO”

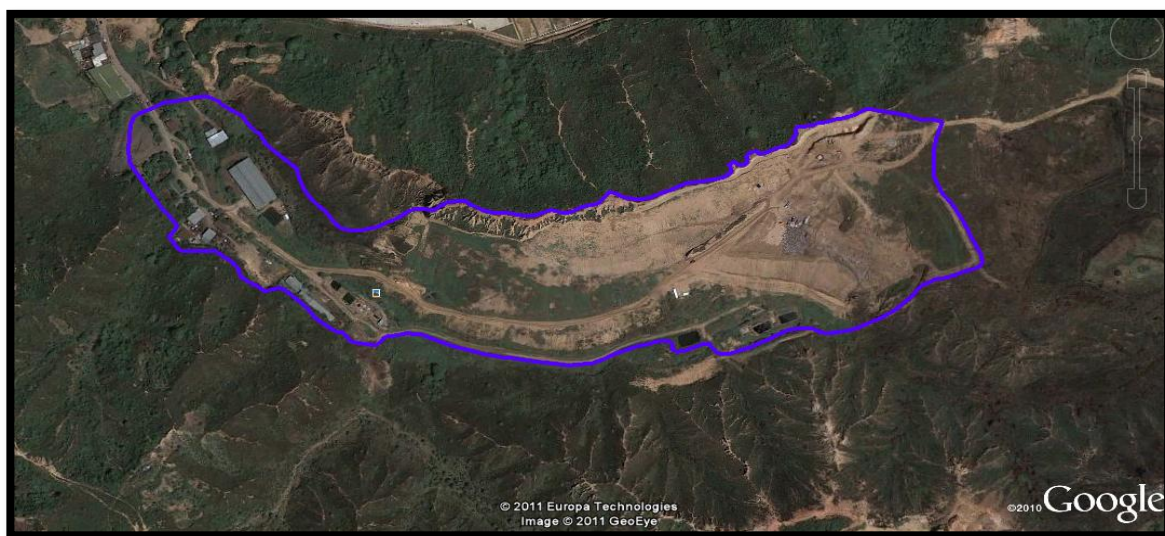
En nuestro proyecto haremos un énfasis en el relleno sanitario de la ciudad de Bucaramanga.

### 6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

#### 6.1.1. Ubicación Geográfica

El Carrasco ubicado en la zona suroccidental, en una quebrada de la terraza de Bucaramanga, cerca al barrio Porvenir y al oriente de CENFER, Centro de ferias de la ciudad, fue el sitio escogido por parte del municipio.

**Figura 10.** Ubicación Geográfica. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Google Earth

### **6.1.2. Conformación del Relleno**

Cuatro cárcavas o fosas componen el relleno sanitario. En la primera, de 7 hectáreas, que tiene dos zonas; la zona I fue clausurada por negligencia en el manejo y la II sigue en marcha gracias al diseño entregado por Environmental Services que nos muestra que posee área suficiente para la disposición con perfil escalonado y buena disponibilidad de material de cobertura, pues la altura de las terrazas tiene un promedio de 5 metros de altura. Cárcava I está totalmente a cargo de la ciudad de Bucaramanga. En la segunda cárcava fue donde inicialmente se llevaron los desechos, haciendo un daño visible al medio que nos rodea. Ahí se acomodaron un poco más de 500 mil toneladas de basuras procedentes de Bucaramanga, su área metropolitana.

Cárcava III, con 12 hectáreas, está localizada en la parte suroccidental del Carrasco; tiene una diferencia de aproximadamente 60 metros entre el fondo de la disposición y la cota máxima. Su cobertura vegetal virgen indica la no intervención todavía de su terreno. Totalmente ubicada en Girón, Santander. Al igual que la cárcava III permanece la IV.

### **6.1.3. Topográfica**

El terreno seleccionado presenta poca vegetación, taludes con altas pendientes y erosiones continuas. La adecuación de la zona contó con plataformas de operación, variando la topografía que se tenía.

La cárcava II presenta una forma de U estrecha con vegetación abundante y con pendiente principalmente fuerte en la parte sur, y en la zona oriental pendiente suave con visibilidad de vegetación. En la parte baja de la cárcava se tiene una pendiente suave en sentido oriental a occidental, con ayuda de esta pendiente llegan las aguas de escorrentías provenientes de los costados de la cárcava y

lixiviadas de los desechos, uniéndose estas aguas en la parte más baja junto con las provenientes de la cárcava I llegando finalmente a la planta de tratamiento de lixiviados.

#### **6.1.4. Geológica**

La formación de la meseta de Bucaramanga contiene rocas arenosas y limosas de colores rojizos y violetas. Los cambios constantes del tamaño, esfericidad y geometría de las partículas dan por sentado que los depósitos son inmaduros. Su constitución parece un cono donde se nota una reducción en la pendiente y en el tamaño del material.

En el área del relleno los depósitos que aparecen son Cuaternarios y presentan una diversidad de segmentos. El segmento calcáreo (QmBc), está comprendido por gravas arenosas, arenolodosas, y lodos arenosos compactos de curvatura media; aunque prevalecen las arenolodosas, las gravas contienen areniscas pardas, verdes y violetas, areniscas silíceas, y clastos metamórficos e ígneos.

De los segmentos órganos, (QmBo) se puede decir que se alternan niveles conglomeráticos y lentes limoarenosos; y que en la clasificación de los cantos, que sus alteraciones son verticales y laterales, también se aprecian las areniscas silíceas de grano medio y grueso, de amarillas a blancas y de forma redonda.

Los segmentos finos, (Qmbf) parecidos a los de órgano, con estratificación plana tienen secciones levemente onduladas. En estos segmentos se encuentran las arcillas con espesores entre 5 y 15 metros y se alcanza a diferenciar los niveles intercalados gravoarenosos y limoarenosos.

Al notar niveles arenogravosos y gravoarenosos los cuales contengan cantos casi redondos de poca esfericidad y que están apoyados en un cuerpo arcilloarenoso de color rojizo, se pueden distinguir como segmentos gravosos, (Qmbg).

Según el estudio fotogeológico de la Empresa de Aseo de Bucaramanga, se identificó una pequeña falla, que pasa por el barrio El Porvenir con dirección nortesur y probablemente sigue hasta el Terminal de Transportes de la ciudad. La falla podría ser derivada de la falla de Bucaramanga – Santa Marta y como queda próxima al relleno alcanzaría a perjudicarlo por la existencia de taludes, de un considerable porcentaje de erosión y del tipo de material presente, ocasionando deslizamientos.

En cuanto a la estratigrafía local de base a techo se establecieron tres secciones:

- Los cantos heterométricos,
- Las lodolitas ferruginosas, y
- El manto integrado por conglomerados de color pardo a rojizo

Según su esfericidad, tamaño y matriz se reconocieron diez tipos de mantos de base a techo con especificaciones precisas y valiosas, que van desde la A hasta la J.

El área totalmente se encuentra compuesta por miembros Órganos (Qbo) con afectaciones erosivas, evidencias de depósitos antrópicos en la zona utilizada anteriormente como botadero a cielo abierto.

La litología se evidencia en taludes sobre el margen izquierdo de la vía desde las oficinas hasta el inicio de la zona de Clausura, en la cárcava I, II y III. Valles en V, interfluidos de filos ondulados con crestas agudas ramificadas, se erosiona rápidamente, formando surcos, cárcavas y tierras malas que dan forma de

estoraques con alturas de 10 m aproximadamente, y sobre él se desarrolla un drenaje detrítico subparalelo.

Según Ingeominas, la cárcava I zona II corresponde a una serie monótona de niveles polimícticos de fragmentos gruesos, de aspectos conglomerativos, capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura.

Niveles gravosos, matriz arcilloso, pardo amarillenta, con algunas variaciones a gris amarillento, niveles finos de arcillas arenosos y arcillosas, compactas de consistencia en las rocas moderadamente meteorizadas. Firme ligeramente micáceas, con trazas de materia orgánica. Los depósitos son estables, se encuentran medianamente meteorizados y presenta alta permeabilidad.

Su geomorfología es de orden denudacional – estructural y denudacional y aluvial. La geomorfología de orden denudacional – estructural filos rocosos, depresiones denudacionales formada por la presencia de una faja estrecha de rocas blandas que están delimitadas por escapas, estas depresiones se localizan en cada una de las cárcavas del relleno.

Se encuentran pendientes planas a casi planas no superiores al 3%, encontrándose en el fondo del valle aluvial de la cárcava II, pendientes suavemente inclinadas de 3% a 12%, pendientes empinadas de 7% al 12% estas se presentan en zonas de las cárcavas menores y sectores alrededor de estas.

En el costado superior de la cárcava II en el costado sur, se presentan pendientes escarpadas ente 50% y 75%.

### **6.1.5. Composición Climatológica**

Bucaramanga se encuentra ubicada en el piedemonte de la cordillera oriental, con altitud variable de 800 y 1050 msnm, propiedades que hacen formar parte de la zona climática intertropical, la ubicación de la ciudad permite estar expuesta a una intensa radiación solar. En Girón, específicamente en Llano Grande, el IDEAM cuenta con una estación a 777 metros sobre el nivel de mar que entrega registros de precipitación media multianual, máximos y mínimos promedios multimensuales mostrando que los meses secos son diciembre, enero y febrero y los lluviosos marzo, abril, mayo, octubre y noviembre. Otro registro entregado es el de la temperatura promedio que desde hace como 30 años no varía y es de 25°C. Por cálculos hechos por el IDEAM, por cada 100 metros el gradiente de temperatura sería de 0,63°C.

La temperatura media mensual para las últimas tres décadas, es de 25 °C, para la estación de Llano Grande se presentan temperaturas altas en los meses de Junio y Septiembre, para la estación de la PTAR se produce en Julio y Septiembre.

La humedad relativa de la extensión de terreno estudiado es alta, el brillo solar depende de la época y la evapotranspiración, según la “Evaluación de la Evapotranspiración en Colombia”, publicación del HIMAT y con los datos arrojados por la estación, el dato máximo mensual fue de 103.97 milímetros para el mes de marzo y el mínimo, 73.90 milímetros para enero.

La zona del Carrasco se encuentra bien expuesta al viento, con poco riesgo de inversiones térmicas. Se producen afloramientos de agua, debido a la presencia de arcillas ubicado a lo largo de todo el centro de la cañada, lo que impide que el agua se infiltre y por consiguiente se produzcan caminos en la superficie del terreno, saliendo poco después del sitio donde se finaliza el cuerpo de los

residuos. El nivel freático a nivel del terreno se encuentra situado en zonas donde la pendiente empieza a disminuir a una profundidad de aproximadamente 2m.

#### **6.1.6. Velocidad del Viento y Dirección del Viento**

De la estación UIS se extrajo la información de los vientos. Normalmente, en la meseta de Bucaramanga se presentan velocidades entre 3,6 m/s y 1,3 m/s variando por la hora; en la estación la velocidad mensual mínima promedio es de 1,9 m/s y la más alta de 2,1 m/s, revelando la mayor dominancia de vientos hacia el norte, luego hacia el sur y posteriormente hacia el noreste.

Los vientos más influyentes que circula por la ciudad son los vientos alisios, circulando en dirección noroeste en la estación de Palonegro y desde el norte en la estación de la UIS, cuando el balance de la radiación es positivo se generan las corrientes ascendentes produciendo un calentamiento de las superficies de las vertientes expuestas al este, este comportamiento se genera en el día.

Los vientos descienden y el aire se torna frío, a primeras horas de la mañana el aire tiene un desplazamiento débil e irregular, y dependen del grado de nubosidad de cada día, el aire frío se debe al balance negativo de la radiación que se presenta en las vertientes expuestas al este a partir de la puesta de sol. La estación de la UIS, muestra la dirección de vientos predominantes del norte con un valor de 44% y vientos al noreste y al sur con vientos de 10% y 16.8%. La estación de la PTAR muestra vientos al suroeste y noreste de 23.66% y 24.5 % y vientos del este al sur con avalores de 13.3% y 13.2% respectivamente.

En la estación de la PTAR en el día presenta una tendencia desde el noreste, este y suroeste con valores aproximados del 30% para cada uno, en las horas de la noche se presenta una inclinación hacia el noreste con un valor del 80%.Los

olores que se presentan en el Carrasco se dirigen en sentido noreste, con velocidades bajas en la noche, haciendo que los olores no se dispersen y diluyan, hasta la aparición del sol elevando la temperatura calentando la superficie iniciando la dispersión.

#### **6.1.7. Afectaciones**

Los taludes del sector oriental de la zona, a pesar de que se encuentran humedades no afectan la estabilidad del sector. Gracias a la ausencia de acuíferos importantes en el área la afectación por los lixiviados es nula, existiendo solo una fuente superficial quebrada La Iglesia, en donde en épocas de lluvia se presenta una alta contaminación a este cuerpo hídrico. El Carrasco se ve afectado por erosiones y humedades en los taludes debidas a la filtración del agua por corrientes superficiales. Alrededor de la zona, la ausencia de acuíferos importantes es un punto a favor para el ecosistema ya que no llegan los lixiviados a ellos.

### **6.2. ESTUDIOS DE DISEÑO**

#### **6.2.1. Producción Per Cápita**

Para el buen manejo de un relleno sanitario es indispensable conocer la cantidad de personas a las que se les brinda el servicio de disposición final y por ende la cantidad de residuos que generen. De un total de 1'159.767<sup>4</sup> habitantes, El Carrasco recibe entre 766.67 Ton y 833.34 Ton diarias, con aproximadamente 200 registros de vehículos.

---

<sup>4</sup> DANE. Colombia, Proyecciones de Población Municipales por Área 2005-2020.

**Tabla 5.** Producción Per Cápita.

Producción Per Cápita día	Entre	Producción Per Cápita día
1512,73		1391,71

Fuente: Autoría Propia

### 6.2.2. Propiedades del Suelo

De acuerdo con el documento “Recopilación y evaluación de la literatura geológica, geotécnica y de estudios hidrogeológicos de carácter semiregional y local del área del relleno El Carrasco” elaborado por la EMAB S.A., las masas que hacen parte del perfil estratigráfico del sitio del relleno son o muy compactas o muy densas, y en el área de influencia el espesor del manto se extiende hasta casi 100 metros estando por debajo de él, posiblemente, un acuífero significativo.

Los datos obtenidos por la EMAB S.A de contenido de finos en las mezclas de limo, arena y arcilla oscilan entre el 37% y el 59%, los índices de plasticidad entre 7 y 18, lo cual es bajo, y confirmando un contenido de humedad bajo. Finalmente se clasificaron como arcillas con arenas, arenas limosas y arcillosas. Siendo denso el suelo, los golpes para la penetración estándar tuvieron un amplio intervalo, exactamente de 23 a 108, los cuales llegando a dos metros de profundidad no causaban efecto.

**Tabla 6.** Valores de Penetración Estándar.

Profundidad (metros)	Sondeo			
	2	3	4	5
0.0-0.5	23	76	46	44
0.5-1.0	28	88	98	69
1.0-1.5	33	57	57	97
1.5-2.0	35			

Fuente: “Historia del Carrasco” por la EMAB S.A.

Otro resultado conseguido por los ensayos de la EMAB S.A de corte directo analizando una muestra de los taludes de la zona, fueron el ángulo fricción de 41 grados y la cohesión de 0,3 kg/cm<sup>2</sup>. La tabla siguiente muestra los datos en campo y en laboratorio de los coeficientes de Permeabilidad.

**Tabla 7.** Coeficientes de Permeabilidad en campo y laboratorio.

Manto	Permeabilidad de campo (cm/s)	Permeabilidad laboratorio (cm/s)
I	2.76E-4	(1.96 – 2.74)E-7
H	1.0E-2 – 2.39E-4	-----
G	1.52E-5 – 7.89E-7	(1.21 – 7.39)E-7
F	6.98E-4	-----
E	-----	1.88E-77
D	-----	1.01E-7
C	-----	8.86E-7 – 6.00E-8
B	1.49 – 2.88E-2	4.87E-7

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A.

La capacidad de carga mínima deducida por el estudio realizado es de 40 Ton/m<sup>2</sup>, lo que corresponde a una columna de basuras de 57 metros de altura calculada a partir de los valores de penetración dados también en las tablas. Refiriéndose a la geometría de los taludes, el completo estudio de la EMAB S.A tomó como base las alturas de la última vía de entrada, que de ancho escogieron 13 metros, escogiendo los primeros 200 kilómetros para cortes, y las relaciones 1:3 y 1:4 para los taludes cargados para la simulación del peso de un camión. Fueron analizados a fondo los tramos de los kilómetros 100, 200, 350 y 700 adicionando los que correspondían a 10 y 12 metros de altura.

**Tabla 8.** Secciones Análisis de Taludes.

Sección	Altura (m)
k0+0.00	24.0*
k0+50.0	5.0
k0+100	7.5
k0+150	10.5
k0+200	13.6
k0+250	16.5
k0+300	16.7
k0+350	17.0
k0+400	15.3
k0+450	12.5
k0+500	12.0
k0+550	10.6
k0+600	13.0
k0+650	26.3
k0+700	18.0

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A.

De los resultados se concluyó que para alturas menores de 13,6 metros los cortes tienen un rango de seguridad permitida mientras que para mayores alturas es necesario el acomodamiento con bermas. Para cortes de 18 metros de altura con bermas de 10 y 12 metros de altura, el factor de seguridad es de 1.24, lo que lo convierte en seguro. La resistencia a la penetración de un líquido, conocida como impermeabilidad maneja unos métodos para su efectividad siendo muy funcionables, de manera natural o artificial, para un terreno destinado a la acumulación de residuos. La contaminación de aguas subterráneas debe evitarse así como el flujo de gases hacia el terreno vecino al Carrasco, pues por la permeabilidad del suelo se generan enfermedades muchas veces mortales tanto en animales como en humanos ya que el agua consumida esta contaminada por lixiviado o gas metano. La permeabilidad promedio correspondiente al Carrasco es de  $1,0 \times 10^{-5}$  cm/s, la cual según el tipo de suelo se encuentra dentro del rango. No existen problemas con las especificaciones del nivel freático, pues acuíferos

cercanos no se tienen aunque está la Quebrada La Iglesia que recibe parte de los lixiviados.

Para reducir la cantidad de agua infiltrada, para llevar un control de la propagación de moscas, roedores y gallinazos, para mermar el esparcimiento de plásticos y papeles, es indispensable cubrir con un geotextil impermeable los residuos después de la disposición terminado el día para así mantener estable el relleno, disminuir la producción de lixiviado, garantizar el flujo de gases de las celdas interconectándolas removiendo el material de cobertura de la 'celda' anterior antes de extender los desechos de la siguiente 'celda'.

La cobertura final se hace ya cuando se halla colocado la última capa de residuos en esa zona. El espesor del material, que alguno es traído de otros lados y otro es propio, va desde unos 55 centímetros hasta unos 70 centímetros variando según lo exija en ese momento el acabado del terreno. Enfocadas en Bucaramanga, esta información recopilada de la EMAB S.A. y de otras fuentes es fundamental para la revisión de los procesos que debe seguir el diseño de un relleno sanitario.

### 6.2.3. Propiedades Climatológicas Actuales

**Tabla 9.** Datos Climatológicos Estación Palonegro.

DATOS CLIMATICOS ESTACION DE PALONEGRO				
MES	PP	H	T MEDIA	V MEDIA
DICIEMBRE - 2010	261.38	89.3	20.6	6.4
ENERO - 2011	24.89	82.1	21.7	6.6
FEBRERO - 2011	66.04	82.9	21.5	7
MARZO - 2011	61.48	86.2	21	7
ABRIL - 2011	105.69	87.1	21.2	7.3
MAYO - 2011	141.47	87.4	21.7	6.8

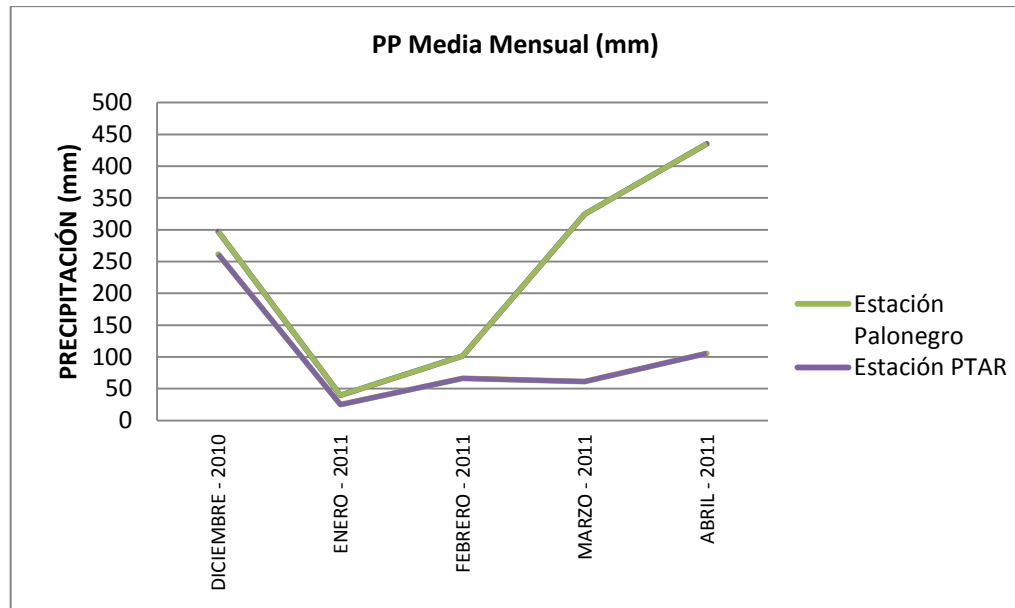
Fuente: [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net), Clima.

**Tabla 10.** Datos Climatológicos Estación PTAR.

<b>DATOS CLIMATICOS ESTACION PTAR</b>				
<b>MES</b>	<b>PP</b>	<b>HR</b>	<b>T MEDIA</b>	<b>V MEDIA</b>
<b>DICIEMBRE – 2010</b>	<b>0</b>	<b>79.4</b>	<b>20.1</b>	<b>6.3</b>
<b>ENERO – 2011</b>	<b>39.5</b>	<b>69</b>	<b>20.1</b>	<b>6.5</b>
<b>FEBRERO – 2011</b>	<b>101.5</b>	<b>63.3</b>	<b>20.4</b>	<b>6.3</b>
<b>MARZO – 2011</b>	<b>324.5</b>	<b>66.5</b>	<b>20.3</b>	<b>5.4</b>
<b>ABRIL – 2011</b>	<b>435</b>	<b>67.2</b>	<b>20.8</b>	<b>5.6</b>

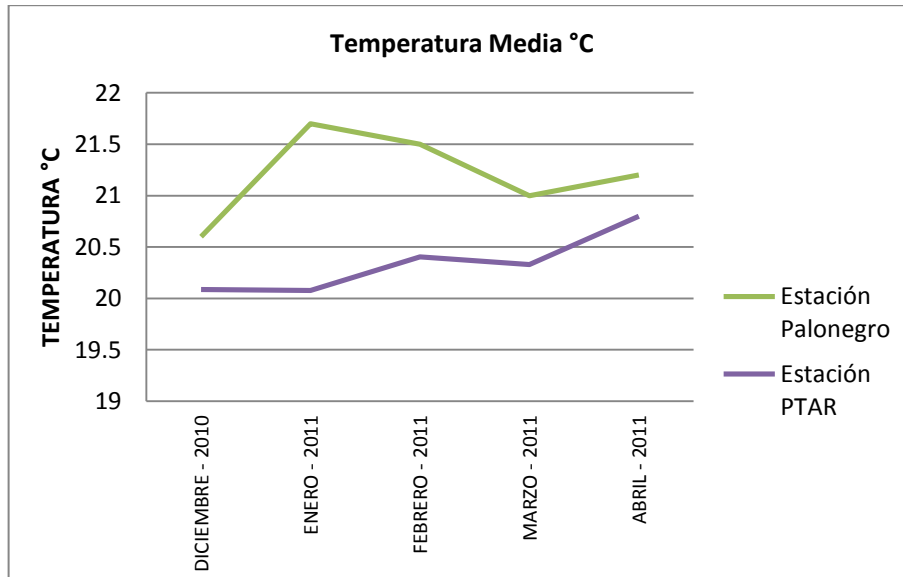
Fuente: CDMB, Henry Castro

**Figura 11.** Precipitación Media Mensual.



Fuente: Autoría Propia

**Figura 12.** Temperatura Media Mensual.



Fuente: Autoría Propia.

En los últimos 5 meses se han presentado cambios climáticos drásticos, donde el valor máximo de precipitación que se registró en la estación de la PTAR es de 435 mm en el mes de Abril, el Carrasco no cuenta con canales perimetrales de aguas lluvia lo que este volumen de escorrentía se vierte en un gran porcentaje en los lixiviados, estas condiciones me muestran una posible incapacidad de la planta de tratamiento de lixiviados para la operación del relleno y vertimiento posterior a la quebrada La Iglesia. Con el aumento de lluvias viene también el aumento de temperatura, acelerando el proceso de descomposición de las basuras, y la creación de microorganismos que influyen en la propagación de malos olores, y el aumento de gallinazos, la temperatura máxima registrada es la de 21.7 °C en el mes de Enero en la estación del Aeropuerto Palonegro.

#### 6.2.4. Composición de la basura

El Carrasco es la actual disposición de residuos no sólo del área metropolitana de Bucaramanga, sino también de municipios aledaños como Lebrija, Rionegro, El Playón, Charta, Cáchira y Suratá. En 1996, la Universidad Industrial de Santander junto con las Empresas Públicas de Bucaramanga realizaron dos convenios y a su vez dos evaluaciones acerca de las propiedades de los residuos sólidos del relleno sanitario. La diferencia de las evaluaciones era que en una se caracterizaban los desechos ya ingresados al relleno y en el otro se clasificaban gracias a entrevistas hechas a los conductores del transporte privado.

**Tabla 11.** Composición física consolidada de residuos sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Tipo de Residuo	Total
Material orgánico	56.0
Papel/Cartón	8.8
Plástico	19.4
Vidrio	4.2
Metales	2.4
Textiles	4.6
Cueros	1.9
Residuos Sanitarios	2.7

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A.

En la tabla mostrada aparecen los datos del cruce de resultados de los dos proyectos; entendiéndose por material orgánico, los residuos de tipo vegetal, la madera, los huesos y claro esta los restos de comida. Cuando se hable de residuos sanitarios, se refiere a los pañales y a las toallas higiénicas entre otros. Se concluyó que la densidad de los residuos sueltos se estima en un 0,3 Ton/m<sup>3</sup> y

luego de la compactación se alcanzan valores entre 0.7 Ton/m<sup>3</sup>, 0.8 Ton/m<sup>3</sup> y 0,9 Ton/m<sup>3</sup> de densidad.

La composición química de los residuos fue tomada del análisis elaborado por Buitrago Gómez Gerardo hace 22 años e incluida en el Plan de Manejo Ambiental del mes de enero de 1997.

La tabla también consignada en la “Historia del Carrasco” por la EMAB S.A, es la continuamente presentada:

**Tabla 12.** Composición química de los residuos sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Parámetro	Rango de Oscilación	
	Mínimo	Máximo
Humedad	63.3	78.7
Nitrógeno Total	1.1	2.0
Cenizas	9.0	29.1
Carbono	39.4	50.6
Relación C/N	22.7	46.0
Fósforo	0.45	3.0
Potasio	1.2	2.0
pH suspensión 1:2	5.4	6.0
Capacidad Calorífica	3011.0	3924.0

Fuente: “Historia del Carrasco” por la EMAB S.A

La cantidad de energía que pueden desprender las masas debido al proceso de oxidación es elevada por la humedad que presentan las basuras del Área Metropolitana, de forma muy parecida pasa con la acción de los microorganismos. Ya que el Carrasco sirve a varias poblaciones es de vital importancia conocer su

capacidad volumétrica, su vida útil y la disponibilidad de material para el recubrimiento de las basuras. Sacando el volúmen comprendido entre las secciones transversales y entre las longitudinales haciendo además la EMAB S. A. una proyección final, los volúmenes son:

**Tabla 13.** Capacidad del Relleno.

<b>Volumen total disponible</b>	<b>1'655843.06 m3</b>
<b>Volumen para la destinación de los residuos</b>	<b>1'379869.22 m3</b>
<b>Volumen de material de cobertura</b>	<b>275973.83 m3</b>

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A

Y si nos enfocamos en la disponibilidad de material de cobertura, son:

**Tabla 14.** Capacidad de Cobertura.

<b>Volumen de corte</b>	<b>380027,13 m3</b>
<b>Volumen teórico material de cobertura</b>	<b>380027,13 m3</b>
<b>Volumen real material de cobertura</b>	<b>304021,7 m3</b>
<b>Volumen requerido material de cobertura</b>	<b>275973,83 m3</b>

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A

Teniendo el volumen total disponible del lugar, la densidad de compactación y la variación anual de la cantidad de basuras, es permitido dar un tope a la duración a la que puede ser utilizado el relleno sanitario. Según lo previsto por la empresa, en septiembre de 2006 la cárcava I zona II habría llegado a su vida límite.

## **6.3. CONSTRUCCIÓN**

### **6.3.1. Acondicionamiento del Terreno**

Para el acondicionamiento del terreno es necesario empezar con la impermeabilización de la base del relleno, logrando una baja contaminación a los acuíferos posiblemente ubicados después del material calcáreo; esto con una capa bien extendida de arcilla no inferior a los 30 centímetros, que porte una permeabilidad de  $1,0 \times 10^{-7}$  cm/s o más pequeña. Si para controlar el espesor de la capa se ponen estacas, al final se deben retirar y sellar las respectivas perforaciones. Como se presenta una pérdida de agua por la evaporación del suelo, se añade una pequeña cantidad luego de colocado.

Como segundo paso debe revisarse la humedad la cual debe estar entre el 2% y el 3% por encima de la humedad de compactación del Proctor modificado. Toda la superficie termina siendo cubierta por una tela de geomembrana y pisada con un rodillo liso. La superficie no debe tener ni rocas ni raíces ni mucha agua, debe ser fuerte y plana para que brinde un soporte ininterrumpido a la geomembrana. La geomembrana tiene sus propias especificaciones, la resistencia química debe ser excelente para que no se deteriore por las reacciones con el lixiviado y deje de cumplir su función; también debe resistir a los esfuerzos residuales que se generen durante la unión y sellado, y en cuanto a las juntas, deben ser confiables.

Este proceso pasa por un control de calidad antes de recibir los residuos. Ensayos de granulometría y límites, ensayos de permeabilidad, y toma de densidades para comprobar la calidad de compactación hacen parte de la transformación de la zona a ocupar. Es indispensable que la capa espesada haya sido puesta sobre una superficie áspera, de lo contrario ésta debe ser escarificada con un disco o aparato disponible, hacerle cortes, entre 5 a 10 centímetros.

Se requiere que la conductividad hidráulica del suelo presentada sea la solicitada, para esto las siguientes condiciones deben darse:

- Porcentaje de suelo grueso máximo del 30%
- Índice de plasticidad mínimo del 20%
- Porcentaje de finos entre el 20% y el 30%
- Tamaño de partículas entre 25 y 50 milímetros

Si se dificulta obtener tal permeabilidad, se permite el uso de aditivos como la caolinita o la bentonita, que actúan como agentes adsorbentes, que serían aplicados posteriormente a una mezcla de materiales y suelo de espesor de 20 o 30 centímetros nuevamente. No es aconsejable utilizar aditivos con altos índices de plasticidad por lo complicado en el trabajo de campo. Para garantizar seguridad en la construcción para la instalación de la geomembrana, los elementos como personal calificado, criterios de pruebas de aceptación al suelo y geomembrana, según la RAS, y toma de muestras están obligados a seguir lo que se pide en el diseño. La seguridad de la estructura del relleno es monitoreada a través de la evaluación de su comportamiento.

### **6.3.2. Instrumentos y Herramientas de Medición**

La instrumentación siendo el indicador de gestión ambiental más relevante, también identifica la presencia de efectos que exijan otro tipo de control a los ya existentes y los implementa.

**Tabla 15.** Batería de Piezómetros.

<b>Batería de piezómetros</b>	<b>Localización</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Número Instrumentos</b>
BP-1	Talud superior	15	3
BP-2	Talud superior	15	3
BP-3	Terraza intermedia	25	3
BP-4	Terraza intermedia	25	3
BP-5	Zona disposición	25	3
BP-6	Zona disposición	25	3
BP-7	Talud superior	25	3
BP-8	Terraza intermedia	25	3
BP-9	Talud inferior	20	3
BP-10	Talud inferior	20	3

Fuente: "Historia del Carrasco" por la EMAB S.A E.S.P.

De manera general, en cuanto a la instalación, operación y mantenimiento de los diferentes aparatos, podemos decir que deben estar en el sitio del relleno con 2 semanas de anticipación a la instalación, con el propósito de ser inspeccionados por el Interventor de la obra quién dirá si cumplen o no con las características que garantizan un buen desempeño, el Interventor también debe asegurarse que se están siguiendo las especificaciones señaladas por los planos dados por el fabricante. Antes de iniciar con las instalaciones el Contratista debe informar al Interventor 2 días antes para la supervisión de labores y para que a su vez este informe a la CDMB de la realización de las obras. Entrando ya en la parte de equipos e instrumentos, y empezando con los piezómetros, no sobra mencionar que deben ser instalados cuando tengan sus respectivas calibraciones. Son de hilo vibrátil tipo eléctrico para presiones entre 0 y 100 metros de cabeza de agua, con precisión de más o menos 0,5% en la medida. Los elementos porosos son de acero inoxidable. Los piezómetros cuentan con un termistor para medir la temperatura en el sitio donde se instalan, leerán máximo unos 80°C.

Gracias al cable de conexión se tienen lecturas de presión y temperatura. Los conductores del cable están en los pozos construidos con taladro rotatorio, con diámetro de 100 milímetros. Antes de la colocación de los piezómetros, estos fueron saturados en agua por dos horas.

Los piezómetros están asegurados contra corrientes eléctricas subterráneas y los cables de salida están conectados constantemente a tierra mediante una varilla copperweld, hincada siempre en el suelo. “La varilla copperweld es un elemento bimetálico compuesto por un núcleo de acero y una película externa de cobre unidos metalúrgicamente. La capa de cobre brinda protección suficiente contra la corrosión del terreno y la varilla en conjunto permite una adecuada difusión a tierra de las corrientes de falla que se puedan presentar en el sistema eléctrico”<sup>5</sup>. Con la tenencia de los piezómetros se facilita conocer el nivel de presión de poros.

A larga distancia, las puestas de tierra, los carretes de cable y las cajas de salida deben ser identificados para no ser destruidos. Cuando se hagan las perforaciones para los piezómetros, si se tiene la necesidad de revestir el hueco para que no se derrumbe, durante el relleno de la perforación la tubería de revestimiento tendrá que ser separada.

El sistema utilizado finalmente para la perforación de los piezómetros fue el de percusión. Detrás de cada una de las perforaciones existe un registro que contiene tanto información clara de las mismas como la ubicación, la clase de material y el nivel freático. Los lodos no deben hacer parte de la perforación. A continuación se explicará el procedimiento llevado a cabo para instalar los medidores de presión de hilo vibrátil:

---

<sup>5</sup>Pronergy Suministros Eléctrico, Puesto a tierra, Varillas Copperweld <http://www.actiweb.es/pronergy/pagina4.html>

En el sitio de obra, se saca una curva de ajuste para establecer el cero de lectura a la temperatura y a la presión, y así verificar la curva de calibración dada por el creador o fabricante.

Estos piezómetros llevan un diafragma de acero inoxidable que va conectado al hilo, que muestra variaciones en la frecuencia de vibración inducida por las diferentes presiones ocasionadas en el diafragma. Las lecturas digitales son capturadas por dichos cambios. Datos del piezómetro:

- Diámetro: 19,1 milímetros
- Largo: 133 milímetros
- Exactitud: +/- 0,1%
- Amplitud: 0,22 Kg/cm<sup>2</sup>
- Sensibilidad: 0,25%

Antes de seguir con los pasos para la instalación, se mostrará la forma de prueba que se utilizó. Primero se saturó un filtro y se llenó el espacio que hay con el sensor con agua por 1 día. Después se tomó el piezómetro dejándose en exposición al ambiente durante 15 minutos y alcanzar un equilibrio térmico. Posteriormente se sumergió el medidor en agua y se tomaron con la consola las lecturas iniciales. Para finalizar la prueba se modificaron la presión y las alturas comparando datos, para desecharlos o aprobarlos.

Continuando con el procedimiento se limpió la zona de escombros alrededor de la perforación impidiendo un derrumbe de material en su interior. En la base de la perforación se dispuso una capa de arena con espesor de 30 centímetros la cual estaba en lo más profundo del nivel de instalación del piezómetro. Se formó el nivel de arena hasta llegar al metro e inmediatamente se acomodó el piezómetro por encima de la capa inicial. Seguido a eso se agregó arcilla seleccionada y se instaló el segundo piezómetro.

Al terminar de poner de la misma manera los siguientes piezómetros, se retiró poco a poco la tubería de revestimiento antes mencionada. La cámara de protección se ubicó sobre la última capa de arcilla extendida. La lectura manual a pesar de ser sencilla, brinda un proceso el cual se siguió para la correcta obtención de datos. Estando conectados el cable del piezómetro y la consola de lectura hilo, se colocó un selector que leyó el valor con el que se entró a la curva y se obtuvo la presión en ese punto. La temperatura si se leyó directamente.

Siendo la estabilidad un tema tan especial para nuestro proyecto, tan pronto sea necesario se traerá a colación. Lo ideal es que el cuerpo de residuos se mantenga estable, pero se dificulta por el entorno natural o artificial. Los ensayos de infiltración, los análisis mensuales de variaciones topográficas, de presión de poros y de datos geoelectricos, las lecturas diarias de datos topográficos y datos de piezometría, la compactación de residuos y el desarrollo constructivo del relleno; son aspectos que se tendrán presente cada 3 meses para conocer el estado de la masa de residuos. Los inclinómetros fueron recientemente instalados y de ellos se espera observar el comportamiento del terreno, específicamente del talud.

### **6.3.3. Preparación de las Celdas**

Para la depositación de basuras, se le debe hacer una preparación previa a las celdas.

En primer lugar se hace una demarcación de la celda diaria de disposición de residuos la cual debe tener aproximadamente 24 metros de frente por 14 metros de fondo y con una altura más o menos de 2.5 metros, que corresponden a 0.2 metros de material de cobertura. Aunque la demarcación no es visible los valores sí corresponden a la descripción que la EMAB hace al respecto de la celda.

Cuando se inicia una nueva celda, se retira material de cobertura del sitio, removiendo al menos 40 m<sup>3</sup>, para poderla interconectar con la celda inferior. Se continúa con la construcción de las chimeneas que van dentro de la celda. Los canales perimetrales para el drenaje de agua lluvias no se percibieron en la visita técnica pero deberían contruirse, de igual manera al existir aguas provenientes de áreas del relleno parcialmente terminadas, se deberían drenar por zanjas provisionales para que transporten el agua a los sistemas definitivos, pero esto tampoco ocurre.

En época de invierno las lluvias fuertes constituyen una condición problemática por varias razones. El material de cobertura debe ser reemplazado y renivelado en ocasiones, a causa de la erosión. Por otro lado, se presentan grandes dificultades en la construcción de las vías temporales y en su sostenimiento y la circulación de vehículos recolectores se convierte en un obstáculo para el tránsito normal. La compactación, regada y transporte de material de cobertura también será tedioso.

En el Carrasco se tienen en cuenta los siguientes aspectos, con los cuales hace que la operación tenga unos días menos complejos:

- Reservar espacios del relleno con accesos relativamente fáciles para tiempos de invierno.
- Almacenamiento de material de cobertura cerca del área reservada para tiempo de invierno.
- Planear el uso de materiales de fácil manejo, por ejemplo suelos granulares, durante el invierno.
- Asignar al bulldozer la tarea de halar o empujar los recolectores y vehículos atascados.\*

---

\*La ayuda rutinaria debe evitarse a causa de las cargas extremas a las cuales se someten las transmisiones de los recolectores.

- Descargar los residuos de los carros recolectores y vehículos particulares en terreno firme y transportar o empujar los mismos al frente de trabajo con el equipo del relleno.
- Perfilar el terreno de tal manera que las aguas lluvias drenen retirándose del frente de trabajo.
- Almacenamiento de material granular o desechos granulares de demoliciones sobre la escombrera para construcción de vías temporales.

Otros aspectos que podrían implementarse para una planeación oportuna son:

- Almacenamiento de material granular o desechos granulares de demoliciones sobre la escombrera para construcción de vías temporales.
- Construir vías temporales de pendientes más suaves en invierno para mejorar la capacidad de los recolectores para moverse sin ayuda.

#### **6.4. OPERACIÓN**

La operación de la disposición final en un relleno sanitario abarca un gran número de actividades como la adecuación del área a disponer, la impermeabilización previa, el esparcimiento en capas, la compactación de residuos, equipos y descripción del cargue y transporte de material de cobertura, así como los sistemas utilizados para el control y evacuación de gases, lixiviados, aguas lluvias e infiltraciones. El monitoreo de piezómetros y de inclinómetros deberá tener un seguimiento al igual los olores producidos y el control desde insectos y roedores hasta animales grandes.

##### **6.4.1. Especificaciones del Equipo**

Los equipos necesarios para la operación del relleno son tres bulldózers, uno trabajando y dos en stand by, que extiende tanto las basuras compactándolas en

las celdas como el material que finalmente cubrirá los desechos transportándolo cuando sea necesario; también se cuenta con dos retroexcavadoras, que asumen el papel de cargador cuando las volquetas tengan que transportar material o basuras, ellas son vitales en el manejo del relleno ya que los acarrees son constantes pues desde material sobrante, material de cobertura, hasta herramientas son llevadas en esos vehículos, que también son dos para la disposición final.

#### **6.4.2. Caseta de Pesaje y Báscula**

Otros aspectos muy importantes y que de los cuales depende el éxito de la operación son: la vigilancia, el registro y la playa de descargue, sin dejar a un lado la parte de Recursos Humanos y Normas. Las funciones de los vigilantes son controlar la puerta y la caseta de registro, además de proteger los linderos del relleno. Otra persona, ya con experiencia en la toma de datos y manejo de programas, vemos en la caseta, en donde él controla los vehículos transportadores y el debido registro de pesos antes y después.

Llamado los ojos del relleno, en la oficina de registro se almacenan los datos para luego analizarlos. Al entrar las volquetas, se anota la fecha, la hora, el número de la placa, la procedencia, y peso. La información anterior se puede obtener manualmente. En el Carrasco se obtiene por medio electromagnético manejando un Sistema de Información para Controlar el Pesaje de Residuos. El operador de la báscula procede a registrar el peso de entrada del vehículo. Se da la autorización al vehículo que ingrese al relleno y descargue los desechos, ya descargados en la celda diaria, el vehículo se dirige a la báscula de salida. Una vez situado en la báscula de salida, el operador registra el peso del vehículo vacío para que el programa calcule el peso neto de los residuos descargados. Mes a mes se remite a la oficina de disposición final el resumen del registro diario de la

totalidad de ingresos, el mismo registro para cada municipio o proveedor, los valores totales de cada particular identificado y que se halla considerado como usuario permanente.

**Figura 13.** Báscula. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

**Figura 14.** Caseta de Pesaje. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

Cuentan con dos básculas, una mecánica y otra electromagnética. La mecánica el día de la visita estaba des calibrada, por lo tanto se estaban tomando los datos de la báscula electromagnética. A continuación se muestran pesos del último año y su variación a lo largo de los meses:

**Tabla 16.** Peso de Residuos Sólidos por Municipio 2010.

2010						
MES	MUNICIPIOS					
	B/MANGA	FLORIDA	PIEDRECUESTA	GIRON	OTROS MUNICIPIOS	TONELADAS INGRESADAS
ENERO	12,320,295	4,451,365	1,643,100	2,207,210	804,130	21,426,100
FEBRERO	12,117,715	4,056,735	1,543,135	2,065,375	720,145	20,503,105
MARZO	13,518,170	4,501,155	1,667,240	2,288,855	801,210	22,776,630
ABRIL	13,028,715	4,203,520	1,600,610	2,141,350	742,905	21,717,100
MAYO	13,930,520	4,622,205	1,682,600	2,325,145	838,040	23,398,510
JUNIO	14,267,945	4,706,015	1,755,245	2,404,355	1,058,070	24,191,630
JULIO	16,744,140	4,861,390	1,797,850	2,494,330	842,890	26,740,600
AGOSTO	15,213,680	4,362,930	1,805,630	2,544,280	1,339,820	25,266,340
SEPTIEMBRE	14,980,025	4,824,910	1,812,040	2,507,870	869,985	24,994,830
OCTUBRE	15,704,665	4,878,105	1,887,305	2,533,155	851,760	25,854,990
NOVIEMBRE	16,636,280	5,119,560	2,040,600	2,728,475	892,195	27,417,110
DICIEMBRE	16,836,815	5,647,820	2,147,310	2,795,395	894,740	28,322,080
<b>TOTAL</b>						<b>292,609,025</b>

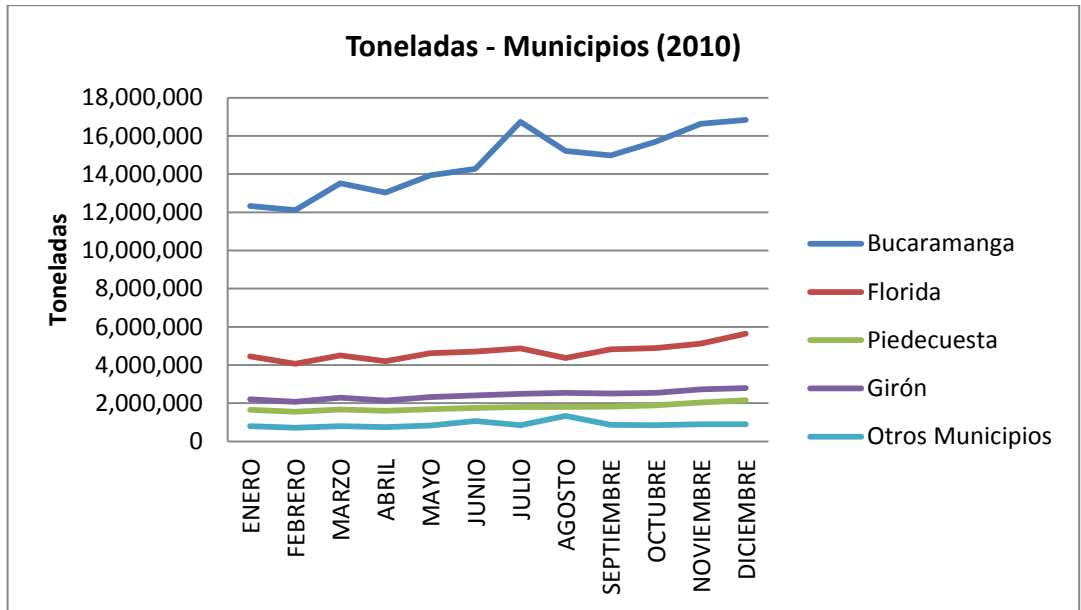
Fuente: EMAB S.A. E.S.P

**Tabla 17.** Peso de Residuos Sólidos por Municipio 2011.

2011						
MES	MUNICIPIOS					
	B/MANGA	FLORIDA	PIEDRECUESTA	GIRON	OTROS MUNICIPIOS	TONELADAS INGRESADAS
ENERO	15,732,340	5,257,030	2,038,255	2,662,175	849,165	26,538,965
FEBRERO	13,937,155	4,638,545	1,772,425	2,281,880	797,505	23,427,510
MARZO	15,644,640	5,242,200	1,992,710	2,702,505	913,595	26,495,650
<b>TOTAL</b>						<b>76,462,125</b>

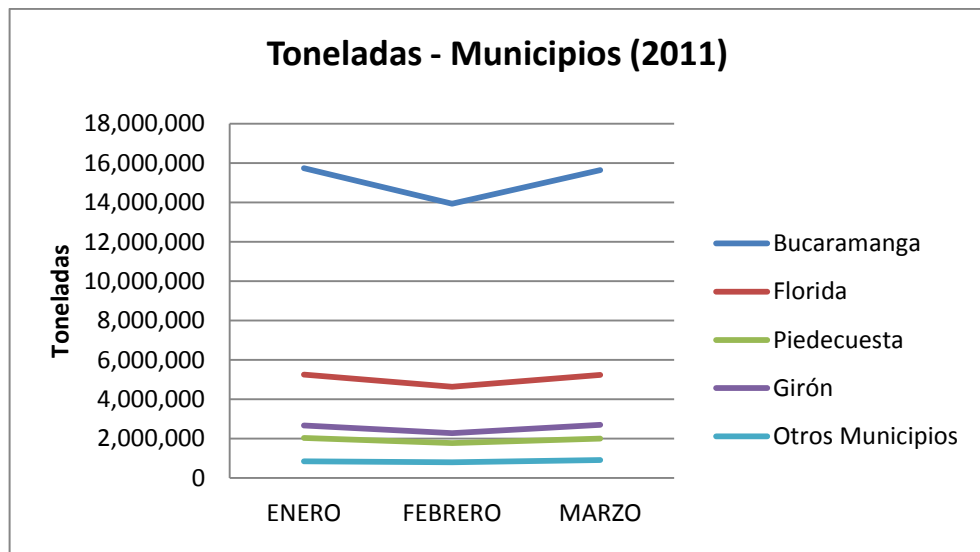
Fuente: EMAB S.A. E.S.P.

**Figura 15.** Gráfico de Peso en relación con cada Municipio 2010.



Fuente: Autoría Propia.

**Figura 16.** Gráfico de Peso en relación con cada Municipio 2011.



Fuente: Autoría Propia.

Los mayores consumos se muestran en los meses de Julio y Diciembre así como Bucaramanga como mayor población y consumidor. Esta información puede ser de ayuda para generar planes de contingencia en los meses mencionados.

#### **6.4.3. Playa de Descargue**

Continuando con la playa de descargue, podemos decir que es ese lugar donde se depositan los residuos y conocemos como 'frente de trabajo'.

Describiendo la trayectoria de los vehículos, estos entran de frente con una velocidad no superior a los 40 km/h y después de la indicación del ayudante o de una señal que indique exactamente el lugar donde ubicarse para descargar los desechos, giran para quedar de espaldas listos para el descargue y luego salir del frente, que debe ser prácticamente plano y despejado. Se dice, "que en un relleno sanitario bien operado, no debe demorar más de cinco minutos".<sup>6</sup>

Si por algún motivo la volqueta deja caer desechos sobre la vía de acceso o en algún sitio diferente de la celda diaria de disposición, estos deberán ser recogidos por la misma al salir del relleno. En el relleno las volquetas desde que llegan a la playa, gastan entre 2 y 5 minutos en disponer las basuras en el frente. Y se cuenta con una entrada y una salida para ellas.

#### **6.4.4. Frente de Trabajo**

El Carrasco hace parte de la lista de rellenos sanitarios grandes puesto que el número de habitantes a servir es mayor de 200.000 habitantes.

---

<sup>6</sup>DISEÑO Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS, Héctor Collazos, 3a Edición.

El grupo de trabajo en el relleno debería estar conformado por:

**Tabla 18.** Frente de Trabajo

	El Carrasco
Vigilantes	1
Registrador	1
Operadores (buldózer, retro, volqueta)	1
Comisión Topográfica	1
Supervisor	1
Ingeniero Residente	1
Gerente o jefe de disposición	1

Fuente: Autoría Propia

De acuerdo a las características visualizadas en El Carrasco, el Jefe de disposición final, es ingeniero civil y tiene el adiestramiento respectivo en el manejo de rellenos sanitario. El ingeniero lleva a cabo la supervisión de todas las actividades y siempre está informado de las mismas. Si se presentan otras situaciones como accidentes o incendios por ejemplo, él debe estar al frente de todo. En cuanto a suministros de herramienta o personal necesario, también está pendiente para suplir esos requisitos. Llegadas las estadísticas a su oficina, debe analizarlas para luego con las conclusiones finales tomar decisiones que repercutan el futuro de la de empresa.

El ingeniero residente que es ingeniero civil, en este caso, hace de asistente del jefe del sitio de disposición final y cumple con las funciones dadas por este de acuerdo a la cantidad de actividades por ejecutar. Cuando se ausenta el gerente, el ingeniero hace de sus veces quedando a cargo toda la empresa.

Por parte del operador del Carrasco, Proactiva Chicamocha S.A. ESP cuenta con una comisión topográfica que realiza levantamiento cada 15 días a cargo de un Ingeniero, un Topógrafo y un auxiliar. Por lo menos cada dos meses los planos topográficos del sitio deben ser actualizados. La comisión sigue las propuestas presentadas por el ingeniero residente, sin embargo marca los niveles para mantener horizontal el terreno, localiza los canales de aguas lluvias y aguas percoladas, ubica las cámaras de eliminación al igual que las vías, playa de descargue, frente de trabajo y celdas.

La persona que vemos en el registro o caseta de registro, cuenta con la habilidad de solucionar problemas presentados con datos de carros o conductores además de dominar el programa y la báscula destinados para el control inicial.

Los operadores de máquina, que son fijos 4, son personas capacitadas y aptas para el cuidado, manejo, operación y algo de mantenimiento ya que si se presenta algún percance con un vehículo puedan repararlo o identificar el punto de averío. Para el cargo de vigilantes, dos personas con buen estado físico, manejo de armas con prudencia y formación adecuada, hacen parte del sistema administrativo del relleno sanitario. Vigilar los límites de la propiedad, vigilar que las basuras no caigan en la vía y vigilar el lugar destinado para el depósito de herramienta, son las labores de quienes vemos ejerciendo este trabajo.

#### **6.4.5. Reglamento Interno de Trabajo**

Al reglamento quedan sometidos tanto la empresa como los trabajadores. También hace parte de los contratos individuales de trabajo, escritos o verbales celebrados o que se celebren con todos los trabajadores.

El reglamento explica las condiciones de horas extras y trabajo nocturno con sus turnos especiales, días de descanso legalmente obligatorio y vacaciones remuneradas. Se muestran las reglas de los permisos, del salario mínimo convencional, del lugar, fechas de pago y períodos que regula, de reglas de orden jerárquico, deberes y obligaciones de los trabajadores, las obligaciones especiales de la empresa y las especiales de la empresa respecto de publicidad y cumplimiento a la ley 1010 de 2006 o de acoso laboral. Las prohibiciones especiales para la empresa y los trabajadores, la escala de falta y sanciones, los procedimientos para comprobación de faltas y formas de aplicación de las sanciones disciplinarias, las justas causas de terminación unilateral del contrato de trabajo, la terminación del contrato, despidos en casos especiales y labores prohibidas para mujeres y menores, plantean una descripción de los artículos que hacen parte de sus capítulos. Las prestaciones sociales adicionales junto con las publicaciones, vigencias, disposiciones finales y cláusulas ineficaces finalizan el reglamento expedido a los 13 de días del mes de marzo de 2009.

#### **6.4.6. Planta de Lixiviados**

Según el Artículo 1 del Decreto 605 de 1996, del Ministerio de Desarrollo Económico, “El Lixiviado es el fluido proveniente de la descomposición de los residuos bien sea por su propia humedad, reacción, arrastre o disolución de un solvente o agua al estar en contacto con ellos”. A cerca del mismo tema, el mismo ministerio pero con Resolución 1096 de 2000 emite que el Lixiviado es el “Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación”.

La que recibe el afluente de cárcava I y II, alimentando la bocatoma de fondo con rejilla, es la cuenca de sedimentación. Esta rejilla que se encarga de remover los

sólidos que se sostienen en la superficie y los arrastrados por el lixiviado, se encuentra en la estación de entrega del álveo o cauce, que se forma por el escurrimiento del líquido, aguas abajo del filtro recolector.

A través de un tubo de 4" comúnmente de PVC que contiene la caja de captación, el caudal captado es controlado. Esta caja hace sus veces de caja de aforo y de paso cuando así lo vea necesario. En el relleno sanitario el Carrasco, encontramos 2 lagunas, una de estabilización y otra de sedimentación. La primera tiene una altura de 4,38 metros, con base mayor de ancho y largo 10,5 metros y 22 metros respectivamente, base menor de ancho 2,9 metros y largo 14,8 metros, su volumen total es de 508 m<sup>3</sup>. Es llamada de estabilización porque su objetivo es suavizar transitoriamente los gradientes de caudal que se presenten y homogenizar por partes el lixiviado que llega a la planta.

La laguna de sedimentación como su nombre lo dice sedimenta completamente el floc que sale con el lixiviado clarificando el líquido; esto se hace en la etapa final del procedimiento. Sus dimensiones son parecidas a las de la primera laguna pues la base menor tiene de ancho 3,9 metros, de largo 13,8 metros, la base mayor de ancho 10,5 metros, de largo 22 metros, altura de 4,51 metros y volumen de 560,8 metros. Las bombas encargadas de la inyección del lixiviado a la planta por medio del método de boya y polea las ubicamos en la caja de alimentación, la cual sirve de bocatoma. La tolva, que es un "dispositivo similar a un embudo de gran talla destinado al depósito y canalización de materiales granulares o pulverizados. En muchos casos, se monta sobre un chasis que permite el transporte"<sup>7</sup>, posee interiormente unas placas paralelas que ayudan a la sedimentación.

---

<sup>7</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Tolva>

En la planta de tratamiento se cuentan con dos de estas, que en la ayuda, aglomeran las partículas gracias a químicos agregados.

La inyección de coagulante, floculante y sulfato de aluminio se hace en la tolva 1 donde a su vez se mezclan rápidamente los reactivos con el lixiviado por el choque dado con los escalones de la tolva. Allí se deriva una corriente de flujo de lixiviado tratado y otra de lodos originados a lo largo del tratamiento. El líquido que llega a la tolva 2 se descarga por reboce. Por último se ve un tubo perforado que airea y transporta el lixiviado a la ya conocida laguna de sedimentación. A cielo abierto, al lecho de secado se disponen los lodos, que llegan atravesando la tubería principal de 4 puntos de salida, uno de emergencia y los tres restantes de alimentación de celdas. A través de un geotextil y capas de arena en cada celda se filtran los lodos que se secan debido al sol; las celdas poseen un tubo en su base que recogen el lixiviado filtrado y lo llevan a la canaleta de lluvias.

Evidentemente no es suficiente este tratamiento, pues el problema más importante indiscutiblemente es el presentado hoy por hoy con el manejo de los lixiviados que se ha venido intensificando por la ola invernal que azotó el país hace algunos meses. El lixiviado es transportado por canales naturales que pasan hasta por la vías dirigidas a la zona de descargue mezclándose con aguas lluvias las cuales no deberían combinarse o por lo menos evitarlo en lo posible antes del obligado proceso.

**Figura 17.** Vertimiento de Lixiviados. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

**Figura 18.** Planta de Tratamiento de Lixiviados. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autría Propia.

Existe una planta hace poco construida pero que no esta en funcionamiento porque le hacen falta arreglos y completar el equipo que se utilizará para el cultivo de bacterias además de sacar las aguas estancadas en su interior. En el momento que se vaya a poner en marcha la planta, se debe revisar la estructura ya que es posible que se presenten grietas u otros daños causados por el agua y posteriormente por la humedad.

**Figura 19.** Nueva Planta de Tratamiento de Lixiviado. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

**Tabla 19.** Volumen Trata de Lixiviados en la PTLX del Carrasco.

<b>VOLUMEN TRATADO DE LIXIVIADO EN LA PTLX DE CARRASCO</b>		
<b>MESES</b>	<b>L/s</b>	<b>m<sup>3</sup>/mes</b>
<b>dic-10</b>	<b>3.62</b>	<b>9383.04</b>
<b>ene-11</b>	<b>2.99</b>	<b>7853.76</b>
<b>feb-11</b>	<b>1.56</b>	<b>4138.15</b>
<b>TOTAL</b>	<b>8.17</b>	<b>21374.95</b>

Fuente: EMAB S.A. E.S.P.

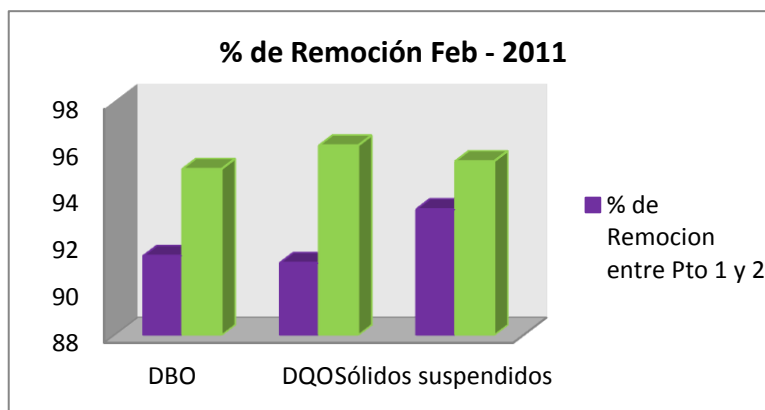
La planta de tratamiento tiene una capacidad de almacenamiento de 1069.7 m<sup>3</sup>, mostrando en el mes de Diciembre, un aumento considerable en el volumen lixiviados tratados donde cada vez irá en aumento debido a los cambio climáticos que constantemente se evidencian.

**Tabla 20.** Porcentaje de Remoción PLTX.

<b>% DE REMOCION PTLX - FEBRERO 2011</b>						
<b>ANÁLISIS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>PUNTO 1 LAGUNA No 1</b>	<b>PUNTO 2 LAGUNA No 2</b>	<b>PUNTO 3 SALIDA PREDIO</b>	<b>% REMOCIÓN ENTRE PTO 1 Y 2</b>	<b>% REMOCIÓN ENTRE PTO 1 Y PTO 3</b>
Temperatura muestra	° C	24	25	25		
pH promedio	pH	8	7,5	7,4		
caudal promedio	l/s	1,5	1,5	1,5		
DBO	kg O2/día	2428,8	209,2	118,5	91,4	95,12
DQO	kg O2/ día	4165,3	370,9	161,6	91,1	96,12
Sólidos suspendidos	kg/día	406,9	26,8	18,5	93,4	95,45
Sólidos sedimentables	kg/día	0,8	0,1	0,0	93,3	96,67

Fuente: EMAB S.A. E.S.P

**Figura 20.** Porcentaje de Remoción PLTX.

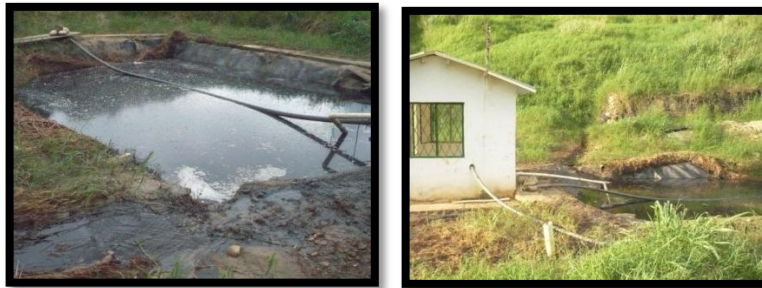


Fuente: EMAB S.A. E.S.P

Cada mes se realiza un control de diferentes variables en los lixiviados y puntos dispuestos por la EMAB S.A. E.S.P., debiendo cumplir con un rango de estabilidad para poder ser vertidos en la quebrada La Iglesia.

De la pasada administración quedó un área supuestamente clausurada, sin embargo allí se encuentra una bomba que transporta el lixiviado hacia la planta de unos metros más arriba en donde sí bajan por gravedad estos líquidos.

**Figura 21.** Piscina de lixiviado. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia.

Las frecuentes precipitaciones incrementaron en el cuerpo de los taludes de los residuos ya cubiertos por tierra la salida constante de lixiviado. Al ocurrir esto lo que se hace es sacar el material, removerlo y reemplazarlo por nuevo ya que éste ha sido licuado. El material debería ser uniforme pero por costos se utiliza el que se encuentra en el Carrasco o una mezcla del traído de otras partes.

Una solución que se implementa en esos taludes es la colocación de tres capas, una de geotextil otra de geomembrana de 40 micras con espesor de 1 milimitro y nuevamente una de geotextil para ayudar en el punzonamiento de piedras y palos, y así conservar la geomembrana iniciando el proceso de la impermeabilización

del talud. Antes de empedrar una zona que contenga residuos, se coloca una capa de 40 o 45 centímetros de arcilla, posteriormente la geomembrana seguida de otra capa de arcilla de 25 centímetros pero con otras características. La capa vegetal debería ser de 20 centímetros pero las del Carrasco no llegan ni a los 10 centímetros de espesor.

Por otra parte, en la ZEM (Zona de extracción de material) y parte de la cárcava (II) clausurada, debió construirse un muro de gaviones que fueron cubiertos por geomembranas de cerca de 200 metros de longitud para evitar que ingresara la arcilla y se colmatara y con la finalidad de detener el riego desordenado de lixiviado que es de 0,3 y 0,4 litros por segundo, normalmente, y se venga más bien por las orillas del muro y sea recogido para poder bombearlo. Cuando el nivel sube un poco se transporta un caudal de aproximadamente 2,5 litros por segundo y cuando llueve fuertemente aumenta de forma extraordinaria.

**Figura 22.** Muro de Gaviones. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia.

Para reducir la cantidad de agua infiltrada, para llevar un control de la propagación de moscas, roedores y gallinazos, para mermar el esparcimiento de plásticos y

papeles, es indispensable cubrir con un geotextil impermeable los residuos después de la disposición terminado el día para así mantener estable el relleno, disminuir la producción de lixiviado, y garantizar el flujo de gases de las celdas.

La cobertura final se hace ya cuando se halla colocado la última capa de residuos en esa zona. El espesor del material, que alguno es traído de otros lados y otro es propio, va desde unos 55 centímetros hasta unos 70 centímetros variando según lo exija en ese momento el acabado del terreno.

#### **6.4.7. Tratamiento de Gases**

Los malos olores no son los únicos expulsados por los rellenos sanitarios, el CH<sub>4</sub> o más conocido metano, es el culpable de incendios presentados en este tipo de obras ingenieriles. La expulsión o eliminación de gases es necesaria para un mejor aprovechamiento del área a utilizar como deposito de desechos. A favor también cabe mencionar la disminución notable que se da con respecto a la presión de poros.

Desde lo lejos se pueden apreciar las cámaras de eliminación o simplemente chimeneas, las cuales están conectadas a traves de gaviones en dos sentidos, en el centro del gavión en donde hay una tubería perforada que capta el gas para luego extraerlo y en el resto del gavión que conduce el lixiviado hacia abajo (esto se presenta en la planta de arriba); cumpliendo las dos funciones, externamente baja los líquidos producidos por los residuos sólidos e internamente expulsa el gas.

**Figura 23.** Chimenea. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia.

En el relleno sanitario El Carrasco existe una planta prácticamente nueva de última tecnología para el tratamiento de gases. La planta realiza la quema y extracción controlada y forzada del biogás que se produce, ayudando a la desaparición de fosas de gases en los residuos sólidos y a la no acumulación de los mismos.

La empresa francesa Bionersis Colombia S.A. E.S.P., desarrolla sus proyectos en vertederos o rellenos sanitarios de residuos sólidos domiciliarios; esta empresa es la encargada de manejar los gases generados en El Carrasco. El proyecto consiste en extraer, controlar y destruir mediante la quema el biogás generado en el sitio por medio de una sonda para la generación de zercs o cercs certificados de la zona de emisiones de carbono.

**Figura 24.** Planta de Tratamiento de Gases y Chimenea. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

La planta funciona de la siguiente manera:

Los gases son succionados por una tubería, las 24 horas del día, que entran con una temperatura pero que durante el proceso de aspiración aumenta, la tubería es engrasada para admitir este cambio. Al ingresar el gas también se marca una depresión negativa en el sistema y contándose con unos resortes se disminuye la vibración de los motores, de 5400 HP. Cuando se lee una temperatura interna de más o menos 70°C el sistema cae, es decir, cierra el paso del gas y manda una señal a la antena como en especie de alarma obligando a que el operador se acerque para la respectiva revisión, reiniciando luego de unos minutos el sistema. Durante la visita el máximo valor leído fue de 62°C.

Es importante mencionar que los 40 pozos que capturan el gas son controlados por un sistema o planta certificada por las Naciones Unidas. Cerca de 420 m<sup>3</sup> de concentración de metano se registran en las pantallas del sistema. El Carrasco toma mediciones cada 3 días para una mejor regulación y detenido seguimiento, a pesar de que las Naciones Unidas lo exige cada semana. Después de producirse más del 50% del gas diario en la captura y quema se empieza a utilizar este gas

para el suministro de energía eléctrica dentro de las instalaciones del relleno. Entretanto la visita se leyó un 40% de más.

Cuando las concentraciones de gas combinadas con el oxígeno son superiores al 25% se vuelve explosivo. Al pasarse del 15% o del 17% se purga el sistema para que recoga todo el oxígeno y lo expulse durante 2 minutos y para así retomar el proceso. Llegando el gas al analizador extraordinario, toma la presión, 22 milibares, la presión absoluta, la altura de la ciudad de Buacaramanga, 230 msnm, y la temperatura de antorcha que sale por el inhibidor, 1050°C. Cuando se va la luz ella corta el paso y el gas queda retenido en el relleno, sin conocer el dato de gas acumulado interiormente. Después se prende nuevamente el motor, realizando la extracción y reprogramando los ítems que se toman.

La interconexión de los pozos se da por medio de una red de tuberías en PEAD la que desemboca en un dispositivo supresor que alimenta a una antorcha de quema, de modo tal de realizar la extracción del Biogás mediante un sistema de ventilación forzada.

Lo propuesto a la EMAB fue manejar un caudal de 1000 m<sup>3</sup>/h en la antorcha, y se piensa instalar otra que dependerá del caudal real de Biogás que presente la extracción en el relleno. Con este sistema puede saberse si los pozos han sido llenados o salpicados de lixiviado para así dar paso a la limpieza inmediata y ayudar con el buen funcionamiento. Gracias a la planta con la que cuenta el relleno sanitario, se evita en una gran medida la contaminación de la capa de ozono.

#### 6.4.8. Producción de Compostaje

El compostaje es el proceso biológico aeróbico mediante el cual se evidencia una alta presencia de oxígeno, los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable como por ejemplo resto de cosechas, excremento de animales y residuos urbanos como material orgánico proveniente de plazas de mercado en el caso de la operación en el relleno sanitario El Carrasco.

Los residuos orgánicos son transportados a una trituradora son depositados en módulos, en cada módulo el proceso de descomposición dura aproximadamente nueve días, luego este material entra en proceso de elevación de temperatura para eliminar humedad, se cubre el material para que se humedezca y estar continuamente volteando y cambiando de lugar para que se desarrolle el proceso de secado. El abono que se genera presenta nutrientes para el suelo como fósforo, potasio mezclado con aserrín para estabilizar dichos nutrientes y convertirlo en abono 100% orgánico. El abono que se produce se proporciona gratis a los usuarios y se desea emplear un costo sobre el para obtener un aprovechamiento económico.

**Figura 25.** Planta de Compostaje. Relleno Sanitario El Carrasco.



Fuente: Autoría Propia

#### **6.4.9. Control de Erosión**

El control de la erosión en el relleno es fundamental. La erosión se presenta o se favorece, por el movimiento de masas de suelos que hasta puedan tomar las características de deslizamientos y por las corrientes superficiales originadas por las precipitaciones en la zona. Para evitar la erosión y tener una inspección hay que tener en cuenta ciertas medidas.

La esorrentía debe ser permanentemente controlada mediante la construcción de cunetas o canales alrededor del área del relleno según lo exija el grado de desarrollo del trabajo. Las aguas así captadas, se deben conducir a cañadas o canales existentes, que garanticen su manejo, sin producir procesos erosivos en el relleno sanitario. El cubrimiento diario de las celdas debe rematarse con una pendiente mínima de 2%, de tal forma que favorezca el rápido drenaje de las aguas lluvias, impidiéndose su almacenamiento o empozamiento.

Las cunetas, canales y estructuras existentes, deben mantenerse en excelente estado de funcionamiento. Esta labor, obligación del operador, se debe llevar a cabo, efectuando limpiezas y mantenimientos frecuentes, que se deben incrementar en tiempos de lluvias. Particularmente, se insiste en la adecuación inicial y el mantenimiento periódico del canal en concreto de aguas lluvias existente en la base del talud junto a la vía de acceso, el cual como ya se mencionó se convierte en parte integrante del sistema de evacuación de aguas lluvias de este diseño.

## **6.5. PARÁMETROS DE DISEÑO BAJO LA NORMATIVIDAD COLOMBIANA**

La disposición final de residuos también hace parte de la gran lista de actividades que se rigen y siguen unas pautas generales y específicas, de acuerdo a sus características. La localización de áreas para la disposición final de desechos sólidos, debe seguir un determinado procedimiento, criterio, metodología, prohibiciones y restricciones.

De igual manera se presentan normas para la planeación, diseño, construcción, operación, mantenimiento y etapa de clausura de un relleno sanitario que se tratan de cumplir en el mayor porcentaje posible.

El decreto 838 de 2005, menciona los instrumentos que deben consultarse para la planeación y organización de la zona a utilizar como destino final de basuras; ellos son: Los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), los Planes de Ordenamiento Territorial, Licencia Ambiental, Reglamento Técnico del Sector (RAS) y el Reglamento operativo.

Antes del inicio de la operación del relleno sanitario El Carrasco, se desarrolló un cronograma de actividades que seguía las especificaciones técnicas definidas en el numeral F.6.7.1.1 de la RAS, se explicaron las condiciones de acceso, se definieron los frentes de trabajo, la compactación de los residuos, el material de cubierta diaria, el control del agua de infiltración y de escorrentía, el tratamiento de lixiviados, actividades y acciones de manejo y control para la estabilidad de taludes, los equipos e instalaciones de Instrumentación, los procedimientos constructivos, la calidad y cantidad de materiales a utilizar, la maquinaria requerida, el personal requerido y calidades profesionales, los planos y esquemas de los procesos e instalaciones en el relleno, según el decreto. A las actividades

se les dio un tiempo de duración y un orden de precedencias para habilitar el ajuste de los distintos tiempos de la programación durante el progreso de la obra.

En la actualidad y desde hace ya varios años, los residuos industriales y hospitalarios se reciben después de haber sido incinerados, tratados o desesterilizados en otras empresas dedicadas a estos procesos. El Carrasco no posee celdas de seguridad pues al ingresar los residuos manipulados ya se disponen con los demás desechos. No todos los residuos hospitalarios e industriales se pueden llevar a aquellas empresas bumanguesas, en Cartagena y Bogotá muchas veces disponen residuos peligrosos de otros lugares de Colombia.

La recolección, concentración y venteo de gases, no se hizo a principios por medio del sofisticado sistema con el que se cuenta ahora, sino con un número pequeño de chimeneas. La captación de gases y el debido y correcto procedimiento lo transforman en energía llevada a biogás.

Algunos procesos operativos desde la entrada de los residuos hasta su disposición final, han cambiado a través de los años ya que la estructura de los taludes y las celdas hacen lo mismo, variando a causa de la cantidad de basuras que ingresan al relleno sanitario incrementándose cada día más. La implementación de un Programa de seguridad industrial se conoce desde la operación del relleno sanitario, pues durante la construcción este fue nulo.

Algunas normas colombianas conocidas acerca de la higiene y seguridad industrial son la Resolución 2400 de 1979 que habla de ello en los establecimientos de trabajo, con respecto al “campo de aplicación, obligaciones de los patronos, obligaciones de los trabajadores, inmuebles destinados a los establecimientos de trabajo (edificios y locales, servicios de higiene, higiene en los lugares de trabajo orden y limpieza, evacuación de residuos o desechos,

campamentos de los trabajadores), y las normas generales sobre riesgos físicos, químicos y biológicos en los establecimientos de trabajo.”<sup>8</sup>

La ley 9 del mismo año que enmarca la salud ocupacional es para “preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.”<sup>9</sup> La resolución en la que se hace énfasis o en la que pudimos percibir se trabaja es en la 02413 también de 1979, enfocada a la construcción, y específicamente los numerales 3.4 y 3.5 que corresponden a las Organización del programa de Salud Ocupacional y Obligaciones de los trabajadores respectivamente.

El Carrasco incluyó en sus diseños la ubicación del sitio de control de pesaje y registro al ingresar al relleno, de la misma forma señaló las zonas correspondientes a efectuar la caracterización de residuos sólidos, el control de las instalaciones sanitarias, el control y monitoreo al sistema de compactación.

El diseño también mostró los sitios correspondientes donde se haría el control y seguimiento a la calidad de aire y agua.

Esta ley cita los títulos de la RAS a seguir en cuanto a las especificaciones para los respectivos controles. Por lo menos para la caracterización de residuos, que debe ser anual según la ley, se deben evaluar las características físicas, químicas y biológicas dependiendo del nivel de complejidad del servicio y el tipo de sistema que se tenga



---

<sup>8</sup> <http://www.buenastareas.com/ensayos/Normatividad-De-Higiene-y-Seguridad-Industrial/110238.html>

<sup>9</sup> <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/rrhh/conbassalo.htm>.

De acuerdo con las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas se deben seguir los métodos de ensayo.

**Tabla 21.** Tipo de caracterización física, química y biológica de los residuos sólidos.

Sistema	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Normas
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Relleno sanitario	Peso específico	X	X		X	D5057
	Contenido de humedad	X	X		X	

X: Obligatorio

X: Obligatorio si son usados como combustibles

Fuente: RAS – 2000, Sistema de Aseo Urbano

En el Carrasco se analizan las dos propiedades señaladas en la tabla. Recordemos los valores, el peso específico para los residuos sueltos es de 300 kilogramo/m<sup>3</sup> y después de compactados 0.75 Toneladas/m<sup>3</sup> en promedio. El contenido de humedad según ensayos es realizados por la EMAB S.A. está entre 50% y 70%.

Para niveles alto y medio alto de complejidad del sistema, la RAS recomienda descargar los residuos en la celda y realizar una compactación uniforme con ayuda de la maquinaria requerida para tal fin. En el relleno se siguen esas pautas y se trabaja con los espesores allí indicados, de máximo 30 centímetros y con 3 pasadas de máquina en las capa).

Es preciso recordar que no existen acuíferos cercanos a la zona pero sí pasa la Quebrada La Iglesia, considerada como fuente superficial, a la cual se vierten lixiviados sin control ni tratamiento. Refiriéndonos a la frecuencia, los datos se toman exactamente cada 2 meses, los cuales son presentados a la Corporación

Autónoma Regional a través de informes. Otros datos también tomados por la EMAB S.A. E.S.P. con la misma frecuencia son:

**Tabla 22.** Monitoreos Adicionales a los exigidos.

Lixiviados y calidad del vertimiento a fuentes superficiales	Valores	Unidades
Grasas	46	mg/L
Temperatura	25	°C
Caudal	1.5	L/s
Sólidos sedimentados	0.20	ml/L

Fuente: EMAB S.A. E.S.P.

Los acuíferos, los lixiviados y la calidad de aire presentan en el decreto los parámetros a los que se les hace el respectivo monitoreo. A continuación se especifica la frecuencia con la que se debe realizar el control y se muestra la que realmente se aplica en el Carrasco; además agregamos los valores y unidades.

**Tabla 23.** Monitoreos Ambientales Exigidos.

Acuíferos	Frecuencia	Cumple	No cumple	No registra	Valores	Unidades
<u>Parámetros</u>	<u>Mayor de 15TM/día</u>					
pH	Semestral			x		
Conductividad eléctrica	Anual			x		
Oxígeno Disuelto	Semestral			x		
Metales pesados	Semestral			x		
DQO	Semestral			x		
Amoniaco	Anual			x		
Nitritos	Semestral			x		
Nitratos	Anual			x		
<b>Lixiviados y calidad del vertimiento a fuentes superficiales</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Cumple</b>	<b>No cumple</b>	<b>No se registra</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
<u>Parámetros</u>	<u>Mayor de 15TM/día</u>					
pH	Semestral	x			7.4	
Oxígeno Disuelto	Semestral		x			
Metales pesados	Semestral		x			
DQO Oxígeno	Semestral	x			1247	mg O2/L
DBO 5 días	Semestral	x			914	mg O2/L
Sólidos Suspendedos Totales	Semestral	x			143	mg/L
<b>Calidad de Aire</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Cumple</b>	<b>No cumple</b>	<b>No se registra</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
<u>Parámetros</u>	<u>Mayor de 15TM/día</u>					
Composición de Biogás CH4, CO2, O2	Trimestral			x		
Explosividad	Trimestral			x		
Caudal	Trimestral			x		
Partículas Suspendedas Totales	Trimestral			x		
Partículas Respirables	Trimestral			x		

Fuente: Autoría Propia.

El artículo 21 de la ley 142, “*Recuperación de sitios de disposición final*. Sin perjuicio de las responsabilidades establecidas en el respectivo plan de manejo ambiental, corresponde a las entidades territoriales y a los prestadores del servicio de aseo en la actividad complementaria de disposición final, recuperar ambientalmente los sitios que hayan sido utilizados como "botaderos" u otros sitios de disposición final no adecuada de residuos sólidos municipales o transformarlos, previo estudio, en rellenos sanitarios de ser viable técnica, económica y ambientalmente.”, lo aplicamos a la zona destinada inicialmente para la disposición final como botadero a cielo abierto, que fue la cárcava II y parte de la zona 1 de la cárcava I. Actualmente dicha zona está totalmente cubierta por vegetación y se han formado estoraques de arcilla principalmente.

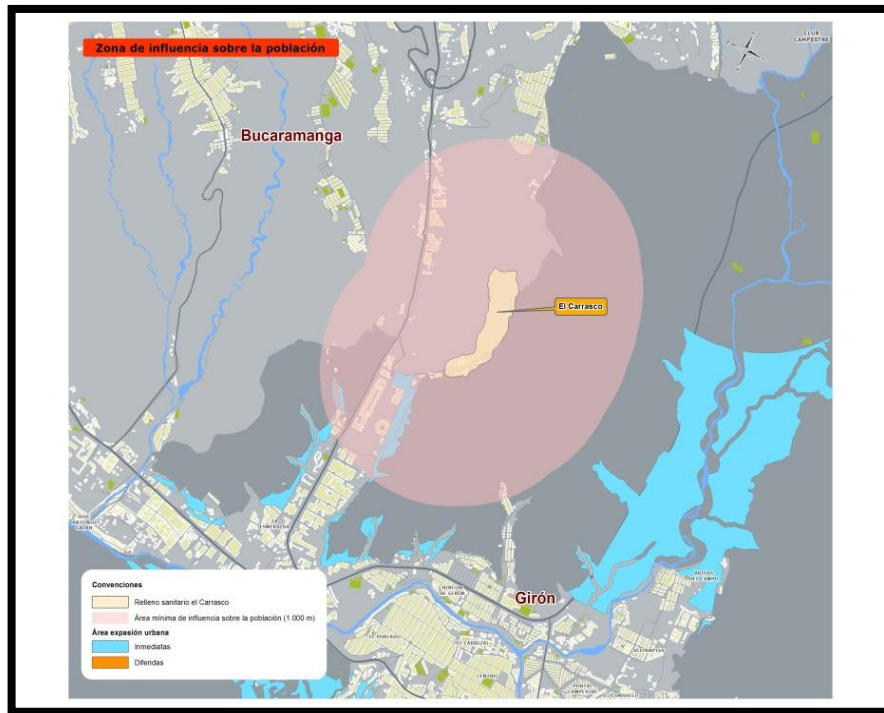
Estas conformaciones se ven estables, y lo son realmente; esta afirmación va soportada por estudios realizados años atrás con varias muestras tomadas las cuales definieron la zona como de alta estabilidad, aunque en la base de los taludes se brotan los líquidos percolados que bajan por la cañada combinándose con las aguas lluvias y posteriormente generando malos olores. Anteriormente se había mencionado el tratamiento que los taludes recibieron al respecto.

Cuando se diseñó el relleno sanitario, se tocaron los temas del uso futuro del sitio pero no se concluyó de inmediato. Falta leer Cumpliendo con el artículo 22 de la ley 142. Dentro de las instalaciones del relleno no se permite el reciclaje.

El Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000 en el capítulo F.6 puntualiza las exigencias mínimas necesarias para diseñar, operar y monitorear los procesos de un relleno sanitario, evitando y mitigando los impactos generados por el mismo.

En primera instancia, la ubicación del Carrasco como relleno sanitario o celda transitoria, no fue escogida como tal ya que inicialmente era un botadero de basuras a cielo abierto. Pero podemos decir que los impactos ambientales después del proceso de cambio fueron mínimos. El Carrasco también cumplía según el estudio con la mínima distancia de transporte, la vida útil, la disposición de material de cobertura, la facilidad de operación por el área y con los requerimientos del POT para disponer del lugar.

**Figura 26.** Área de Influencia de la Población. El Carrasco, Bucaramanga.



Fuente: Autoría Propia.

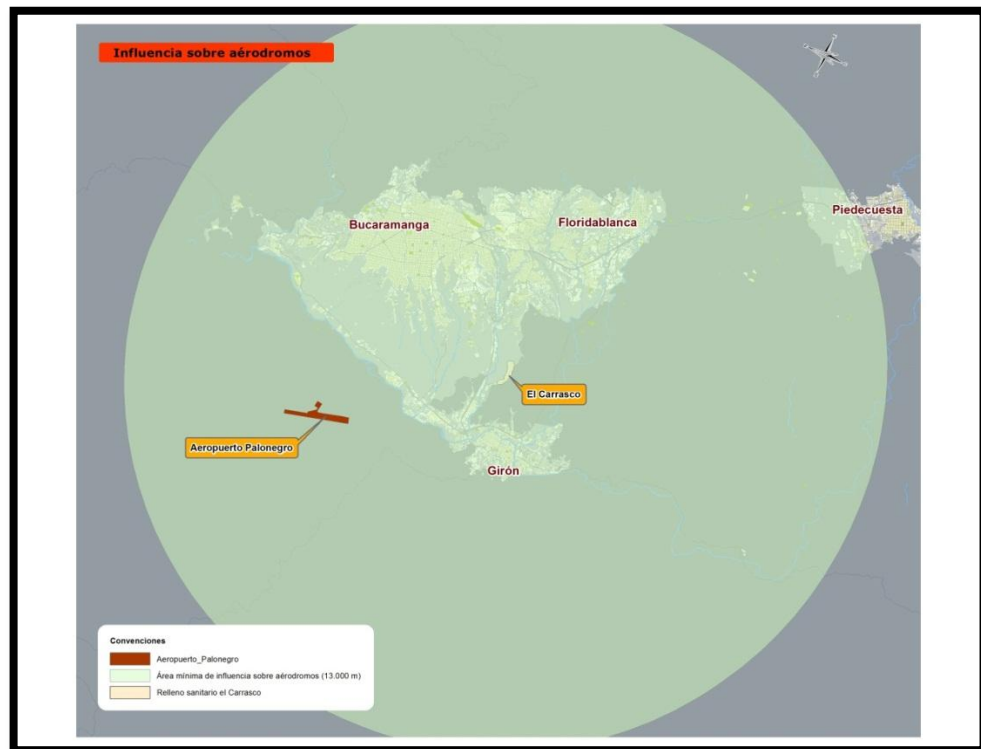
En Bucaramanga, según los planos de ordenamiento territorial existentes hasta hoy, El Carrasco cumple con la distancia mínima con respecto al límite del casco urbano, pues en un radio de 1000 metros no se encuentran ni las zonas de

expansión. A pesar de esto es evidente el gran crecimiento de la población cerca al relleno en los últimos años, lo que según la EMAB ya no cumpliría con este requerimiento.

Otra restricción de la RAS es la distancia a los aeropuertos, que como mínimo debe estar retirados del relleno 3000 metros. El Carrasco cumple con esa regla, pero en el decreto 838 de 2005, se especifica según el Código de la Aeronáutica que la distancia es de 13000 metros y no de 3000.

A continuación se muestra el incumplimiento de esta norma a través de la siguiente figura:

**Figura 27.** Área de Influencia sobre Aeródromos. El Carrasco, Bucaramanga.

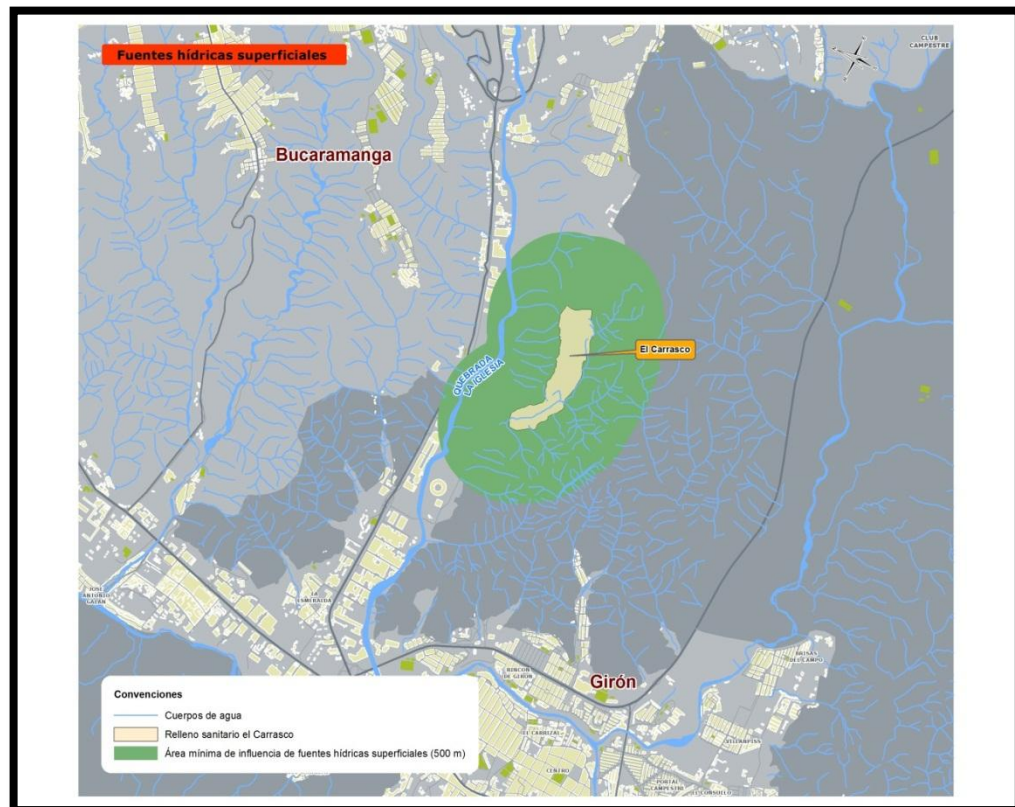


Fuente: Autoría Propia.

Cerca al relleno encontramos un cuerpo de agua superficial no potable, La Quebrada La Iglesia, que con respecto al centro del cauce cumple con la distancia mínima de 500 metros hasta la zona de disposición final sin embargo recibe los lixiviados del relleno. En la zona no existen fallas geológicas cercanas a los 60 metros ni fuentes de agua potable cercanas a los 500 metros. La ubicación del Carrasco respeta las otras obras civiles como transmisión eléctrica, vías, alcantarillado y acueductos.

A continuación se muestra esta norma a través de la siguiente figura:

**Figura 28.** Área de Influencia de Fuentes Hídricas Superficiales. El Carrasco, Bucaramanga.



Fuente: Autoría Propia

Bajo las condiciones señaladas y los trazados de límites, se evidencia un posible incumplimiento de la norma; sin embargo la CDMB y la EMAB S.A. sostienen la verificación de dicho lineamiento y operan sin las restricciones que este acto ocasionaría.

La RAS también hace énfasis en los estudios que se le deben hacer al sitio seleccionado. A pesar de que no se tuvieron estudios previos a la selección, se hablara un poco de cada uno.

- Estudio Topográfico. Se deben realizar levantamientos planimétrico y altimétrico y las dimensiones del terreno. En el estudio debe aparecer toda dependencia que contenga el terreno y su zona de influencia determinando las vías de acceso.
- Estudio Geotécnico. Comprende los estudios anteriores, estudios de geología, sismicidad, clima, vegetación e infraestructura. Se debe especificar la altura del relleno y demás aspectos necesarios para la ejecución como perforaciones, sondeos de exploración y ensayos de laboratorio.
- Estudio Climatológico. Con un mínimo de 25 años se deben tener datos confiables acerca de los vientos, temperatura y precipitaciones.
- Estudio Geológico. Allí deben aparecer las condiciones geológicas no sólo locales sino también regionales para reconocer las discontinuidades como fallas y fracturas, de la misma manera se debe contar con la geometría de las unidades litológicas y laderas.
- Estudios Hidrogeológicos. En este estudio encontramos la distribución de los cuerpos de agua subterráneos, se mira su extensión, geometría y tipo. Se determinan los valores de porosidad, conductividad y carga hidráulica, los cuales definen propiedades como velocidad y dirección de las aguas subterráneas.

Del tema de los lixiviados el reglamento técnico menciona la relevancia de los estudios acerca de la generación de estos líquidos. Es de vital importancia conocer tanto las características de los residuos, el material de cobertura como los componentes del clima y el mantenimiento que se le daría después del cierre.

Para tener en cuenta:

- El nivel freático, las aguas lluvias y de escorrentía, y
- La capacidad de drenaje de la estructura.

Vemos en la RAS un capítulo dedicado al diseño del relleno, aquí se nos recuerda el método a utilizar según las condiciones topográficas, geotécnicas y geohidrológicas. El método escogido para implementarse en el relleno sanitario El Carrasco fue el método combinado ya que se buscaba lograr la máxima utilización de área y lo más importante, el terreno lo permitía.

En la parte de vías, nos permitimos informar que:

Las vías tienen un solo carril y existe una para el ingreso y otra para la salida, pero sólo existe una portería. Según la RAS las vías internas deben ser temporales y con una pendiente menor al 5%, en lo primero el relleno cumple, pero por lo menos en la pendiente, la vía de salida tiene un porcentaje de aproximadamente 20, lo cual hace muy peligroso el descenso. Los giros de curvas son adecuados así como lo dice el capítulo de diseño. No se tiene una buena iluminación para la señalización como lo recomienda el reglamento.

El acceso al relleno sanitario, es por vía pública; las condiciones presentadas en la vía externa aceptan el tránsito todo el año de distintas clases de vehículos. Para el sistema de impermeabilización, se cuenta una capa de arcilla de mínimo 1 metro de espesor y se compacta como lo exige la RAS, con una humedad muy pequeña

pero por encima de la óptima y con una conductividad hidráulica de  $1 \times 10^{-7}$  cm/s. En el relleno se aplican aditivos para las capas, esto lo permite el reglamento. El contenido de la capa es de finos y gruesos acorde con el reglamento y un tipo de tamaño determinado, que va desde los 50 mm hasta 25 mm. En el relleno sanitario El Carrasco también se utilizan aditivos cuando se dificulta la permeabilidad; recomendación clara del reglamento.

La forma en la que se construye la capa sigue las observaciones hechas por la RAS al igual que la compactación. Mientras se terminaba este procedimiento, se cubrió la capa con plástico, se humedeció el suelo y se allanó con rodillo. Al finalizar se le hicieron las pruebas respectivas de calidad. Para el segundo paso, el de la geomembrana, la EMAB S.A obtuvo los diseños según las especificaciones y recibió la geomembrana para de una vez instalarla. No se tiene conocimiento si las normas regidas para el caso de la resistencia, fricción y agrietamiento se siguieron. “Todo relleno sanitario debe contar con un sistema de recolección y evacuación de aguas de escorrentía y lixiviados.”<sup>10</sup>

Actualmente el relleno sanitario El Carrasco no cuenta con el sistema necesario para este tipo de operación, las aguas lluvias no son interceptadas ni dirigidas a ningún un cuerpo de agua. Para la recolección de lixiviado se deben realizar aproximaciones del caudal máximo y del agua de escorrentía. Existen recolectores (tubos), que transportan el lixiviado y lo conducen a la piscina de tratamiento. No se conocieron sumideros, los cuales debería según la RAS, estar ubicados en los puntos bajos del estrato. Para el lixiviado que se maneja en el Carrasco, los drenes existentes son insuficientes y esto se acentuó después de la época de lluvia pasada. Una recomendación sería la prolongación del sistema actual.

---

<sup>10</sup> Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – 2000, Título F- Sistemas de aseo urbano, F.6.4.4.- Sistemas de drenaje.

Para que haya libre evacuación de los gases deben colocarse chimeneas, mínimo cuatro por hectárea, si se trata de rellenos tipo área. Para rellenos tipo trinchera, las chimeneas deben ir cada 20 m o 50 m, según el reglamento. Ya que nuestro relleno a revisar es tipo combinado, no se tiene exactitud en cuanto al número de chimeneas. Según personal de la EMAB, se tienen un poco más de 125 y se realiza un buen trabajo. Los gaviones citados anteriormente también contribuyen a la expulsión de gases.

Para el dimensionamiento que indica la RAS, el relleno sanitario cumple los lineamientos, por lo menos la altura de las celdas es de 2.5 metros y la máxima o permitida es de 3.0 metros. La inclinación depende de la estabilidad de los taludes, en la operación del relleno últimamente se maneja la relación 2 a 1(H:V). Las compactaciones de tierra también siguen los lineamientos, 3 y 4 pasadas como mínimo. Al taparse los residuos con el material de cobertura, la capa queda con una pendiente del 3%, aceptada por la RAS. Los espesores de las capas intermedias son de 30 centímetros, de la misma manera están acordes con las reglas estipuladas. Los filtros longitudinales que deben ponerse de forma vertical para la salida de los líquidos después de cada capa hacen falta.

Una forma para conservar la estabilidad del relleno es saber la composición de los desechos antes, durante y después de ser cubiertos. La caracterización en el Carrasco se hace 1 o 2 veces por año; los ensayos incluyen la resistencia al corte de la forma como lo sugiere la RAS. Otra forma es evaluar el ángulo formado en las interfaces que depende los materiales que están en los dos lados. Para el mismo fin, se pueden utilizar diferentes software, que serían de gran ayuda si abarcaran las presiones producidas por los gases, los niveles de lixiviado y las características del residuo. El Reglamento lista las obras complementarias y sus detalles requeridos según el nivel de complejidad del relleno. Estas son la valla

publicitaria, el área de emergencia, estación de pesaje, cerco perimetral, servicios de obra, área de amortiguamiento, almacén y oficinas y trama vial.

**Tabla 24.** Obras Complementarias.

<b>Obras Complementarias en El Relleno</b>	
<b>Tramo Vial</b>	X
<b>Cerco perimetral</b>	X
<b>Caseta de vigilancia</b>	
<b>Estación de pesaje</b>	X
<b>Almacén y oficinas</b>	X
<b>Área de emergencia</b>	
<b>Área de amortiguamiento</b>	
<b>Servicios de obra</b>	X
<b>Valla publicitaria</b>	X

Fuente: Autoría Propia

A pesar de la inexistente caseta de vigilancia, en la entrada del Carrasco hay una especie portería formada por una carpa pequeña donde se encuentra un vigilante que anota las placas de los vehículos particulares que ingresan y los que van a descargar.

No se vieron zonas disponibles para cuando las condiciones climáticas no permitan la operación en el frente de trabajo. Ni una franja forestada para la reducción de polvos y ruidos, sin embargo en los alrededores de las oficinas hay distintas clases de vegetación.

Más adelante se explicarán en detalle las actividades a llevarse a cabo en la etapa de la clausura y la post-clausura, pero nos adelantamos a confirmar los buenos

planes que se tienen pensados y lo más importante, que obedecen a los parámetros indicados en el Reglamento Técnico. Acerca de la parte Ambiental.

- Aguas subterráneas y superficiales. A la Quebrada La Iglesia, cuerpo cercano al relleno sanitario, no se le hicieron monitoreos previos ni estaciones de muestreo a las obras de construcción aunque sí se hizo el estudio hidrogeológico. El diseño de monitoreo de aguas subterráneas tampoco se hizo por no haber acuíferos en la zona. En este punto se reitera la falta de control del líquido percolado.
- El monitoreo al gas se hace cada mes. El caudal, la explosividad, el oxígeno, el dióxido de carbono y el metano son medidos en la planta de gases.
- El monitoreo de las partículas suspendidas en el aire debe hacerse cada mes pero en el relleno sanitario El Carrasco se hace aproximadamente cada 12 meses o cuando otra entidad realice un estudio ajeno a la EMAB S.A. E.S.P. aunque estos reportes quedan a su disposición.

Con más detalle, la operación del relleno.

El acceso al relleno sanitario está indicado por el cartel de anuncio además de la portería de vigilancia y control. Como se opera hasta las 10 de la noche, arriba en la zona de trabajo o celda transitoria se cuenta con buena iluminación desde las 6 de la tarde.

Como El Carrasco no recibe residuos peligrosos, sólo recibe residuos de las fuentes permitidas para así identificar con anticipación las propiedades de los materiales; si se encuentran, los residuos son apartados y devueltos; así mismo se registra y notifica a la entidad encargada. La compactación de residuos en el relleno sanitario ya mencionada está sujeta a las especificaciones de la RAS, de la misma manera el material de cobertura.

Para una buena operación del relleno en el control de las aguas de esorrentía hacen falta las bermas, que tienen de altura entre 30 cm y 60 centímetros, hacen falta los canales perimetrales que “deben ubicarse gradiente arriba del relleno sanitario para evitar que el agua de esorrentía entre a la unidad, y gradiente abajo para recoger el agua de esorrentía de las partes cubiertas del relleno.”<sup>11</sup> y las cuencas sedimentación.

La RAS recomienda un seguimiento de todas las actividades durante la ejecución o desarrollo del relleno, en el caso del Carrasco, la CDMB hace las veces de entidad encargada del control de gestión.

#### **6.6. ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN ORIGINADA POR EL RELLENO SANITARIO A LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.**

FLORA: de acuerdo al sistema Holdridge y sus adaptaciones hechas por Espinal y Montenegro (1963, 77), el Carrasco está ubicado dentro de la zona de vida de bosque seco tropical, presentando una temperatura media superior a los 25°C, (subhúmedo) con uno o dos periodos marcados de sequía al año. La exuberancia de la vegetación se debe a la presencia de las basuras que al descomponerse le sirven de abono a la vegetación existente.

---

<sup>11</sup>Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico – 2000, Título F- Sistemas de aseo urbano, F.6.6.6.2.- Control del agua de esorrentía.

FAUNA: el Carrasco se identifica con vida silvestre, esto quiere decir que son todos los animales vivos no domésticos, en el área de la cárcava I zona II se dice que la fauna la compone un ecosistema formado por animales pequeños como aves, ratones, lagartijas, y variedad de insectos. Las zonas escarpadas del sector sur de la cárcava I zona II, se encuentran ubicadas en un área donde permanecen los gallinazos en horas de la noche y su actividad diaria se concentra sobre el área de disposición de basuras.

Se producen migración de especies y promulgación de nuevas, como los gallinazos, ratas y cucarachas. Los gallinazos traen eventos como la contaminación ambiental al buscar alimentos, la posible diseminación de enfermedades, y la colisión de estas aves con aeronaves en momentos críticos del vuelo.

Uno de los principales problemas y de mayor contaminación se ven reflejados por el desarrollo de lixiviados y estos después de recibir un tratamiento son vertidos en la quebrada la Iglesia, contaminado continuamente sus aguas, según la visita técnica realizada y la información proporcionada, la EMAB manifestó no tener un control de los índices de contaminación que se produce en la quebrada, ni la realización de pruebas para ello, tampoco de la calidad del aire, los malos olores que se producen por la disposición de residuos y que pueden afectar en la salud de las poblaciones aledañas.

Se podría mencionar que sobre el casco urbano de Bucaramanga se visualizan afectaciones directas sobre la población, como el aumento de malos olores sobre la población del barrio Porvenir, manifestados por las diversas peticiones y quejas a entidades como la CDMB para la clausura del relleno sanitario, la presencia de gallinazos sobre las zonas de vuelo del aeropuerto de Palonegro incrementan la

inseguridad de los vuelos para todas las poblaciones cercanas además de las posibles afectaciones a la zona industrial.

Dentro del manual de operaciones del relleno sanitario se encuentra procedimientos realizados para el control de insectos, roedores y gallinazos. Las medidas que se tienen en cuenta dentro del manual son la cobertura de los residuos sólidos con material de cobertura de 20 cm de espesor y una compactación de cuatro pasadas del equipo o más, en caso de lluvias este material se puede erosionar además de obtener un adecuada compactación por generarse un exceso de humedad, por consiguiente se manejan insecticidas, estos son utilizados por personal adiestrado y calificado, estos son usados cuando se presente una acumulación considerable de insectos pues pueden desarrollar resistencia a los insecticidas, este procedimiento desarrollado para el control de insectos y cucarachas.

Para la limitación del número de roedores donde su población sea perceptible es necesario aplicar un programa de envenenamiento, en áreas donde se halla detectado su presencia, una forma de evitar la presencia de ellos en los desechos es mantener disponible material de cobertura, de forma semejante ocurre con los gallinazos para así disminuir el llamativo de los residuos por consiguiente su comida, estas acciones ocurren a largo plazo y por la larga vida del relleno el Carrasco, se debe alejar a los gallinazos con la utilización de pólvora en las celdas.

## CONCLUSIONES

- Es importante la medición de emisiones de lixiviados y gases (metano), ambos completamente nocivos para el medio ambiente, y para la estabilidad del relleno mediante la acumulación de alguno de los dos dentro de las basuras.
- Para un óptimo drenaje se recomienda compactar las basuras e interconectar las celdas de basura, esto reducirá los vacíos del relleno y ayudara a mantener un flujo adecuado de los lixiviados, esto es beneficioso para el buen comportamiento de talud.
- En rellenos sanitarios es importante llevar un control de la tasa de líquidos y variaciones piezométricas, de la misma manera se debe programar el mantenimiento de los taludes, sobre todos los drenajes, ya que estos se pueden taponar llevando los lixiviados a las vías de acceso, generando contaminación en el ambiente y altas presiones de poros.
- En rellenos sanitarios el agua lluvia y de escorrentía se puede controlar por medio de canales superficiales, evitando la aparición de canales naturales que pueden formar erosión en el talud y contaminación en las áreas aferentes.
- En rellenos sanitarios es necesario mantener un estricto control de asentamientos de las basuras, ya que pueden generarse daños estructurales en los taludes pues la resistencia se ve afectada por los esfuerzos producidos internamente y por ende en el aumento en las deformaciones.
- La pendiente adecuada en estos taludes se puede calcular mediante métodos de equilibrio límite, como el de Bishop modificado, como una forma de control de la estabilidad de los taludes.

- De acuerdo a la información recolectada en este estudio se concluye que la estabilidad de un relleno sanitario se ve afectada por diversas causas como: fracturas en el subsuelo, fracturas en el talud, inestabilidad en zonas de interface, capas de residuos que fluyan bajo el talud, deslizamientos de desechos a lo largo de fracturas presentadas en el talud, inestabilidad en ciertas zonas construidas en el cuerpo del relleno.
- Otros mecanismos generadores de falla pueden ser las roturas de las geomembranas, roturas en los canales por fallas en el suelo de fundación, fallas por movimientos tectónicos, rotura del suelo de cobertura, fallas en el sistema de recolección de gas.
- Para disminuir la cantidad de gallinazos se recomienda el cubrimiento total y completo de las superficies y basuras con geomembranas de especificaciones mínimas o con plásticos resistentes; no solamente se verán beneficiados los alrededores por el despeje de aves sino también en el alivio en el ambiente en cuanto a los olores.
- Es importante preservar las normas que se implementan pues estas han sido diseñadas para mitigar las alteraciones que continuamente se ven fomentadas por el hombre al medio ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Reglamento Técnico de agua potable y Saneamiento básico**, RAS – 2000, Título F.
- **Empresa Metropolitana de Aseo de Bucaramanga**, EMAB S.A. E.S.P.
- **Collazos Peñalosa**, Héctor. Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 3ra Edición.
- **Decreto 838 de 2005**, Acerca de la Disposición Final de Residuos Sólidos.
- **Ley 142 de 1994**, Acerca de la Disposición Final de los Residuos Sólidos.
- **Plan de Ordenamiento Territorial Municipal**, POT 1998.
- **Reglamento Aeronáuticos de Colombia**, 2009.
- **Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga**, CDMB, Ing. Henry Castro.
- **EvaRöben DED**. Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Ilustre Municipalidad de Loja, Ecuador 2002.
- PROPUESTA DE NORMAS TECNICAS PARA LA UBICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MONITOREO DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES. PROYECTO: Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito Municipal: RELLENOS SANITARIOS
- **Gobierno de Chile**, Ministerio de Salud, Div. Rectoría y Regulación Sanitaria, Departamento de Salud Ambiental, Proyecto: "Reglamento de Rellenos Sanitarios", Documento en Consulta Pública, 3 de Enero del 2003
- [http://concejodebogota.gov.co/concejo/site/artic/20091202/asocfile/20091202121107/historia\\_del\\_relleno\\_sanitario\\_final.ppt](http://concejodebogota.gov.co/concejo/site/artic/20091202/asocfile/20091202121107/historia_del_relleno_sanitario_final.ppt)
- [http://www.corantioquia.gov.co/index.php?option=com\\_content&view=article&id=14&Itemid=32](http://www.corantioquia.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=14&Itemid=32)
- [www.emab-esp.com](http://www.emab-esp.com)