



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## RESUMEN

Esta investigación contiene información sobre las fases de selección del emplazamiento, diseño, construcción, operación y monitoreo del relleno sanitario de Pichacay. Dicha información y los artículos de investigaciones realizadas en otros países como Chile y España, nos ayudaron a identificar los principales problemas de estabilidad que afectan a los rellenos sanitarios. La investigación de la historia del tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca nos da una idea de cómo ha ido cambiando la forma de pensar de la ciudadanía y la capacidad de los técnicos para buscar una tecnología que sea adecuada para nuestro medio, como el relleno sanitario de Pichacay.

Las características y heterogeneidad de la basura, influye en aspectos geotécnicos como la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad. Por ello, en la actualidad existe una creciente participación de los profesionales geotécnicos en las etapas de elección del emplazamiento, diseño, construcción, cierre, sellado y reinserción de rellenos sanitarios.

**PALABRAS CLAVES:** Relleno Sanitario de Pichacay, Estabilidad de taludes de un Relleno Sanitario, Problemas de estabilidad de un Relleno Sanitario.

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**INDICE DE CONTENIDO**

<b>CAPITULO 1.-FUNDAMENTACION TEÓRICA .....</b>	<b>4</b>
<b>CAPITULO 2.-CONCEPTOS GENERALES .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPITULO 3.- MARCO TEORICO .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO 4.- TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPITULO 5.- RELLENO SANITARIO DE PICHACAY.....</b>	<b>75</b>
<b>CAPITULO 6.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>100</b>

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**TEMA:**

“PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN EL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY, PARROQUIA SANTA ANA, CANTON CUENCA”.

**MONOGRAFÍA PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO

**TUTOR:**

ING. ARQ. EDUARDO CABRERA PALACIOS MSC.

CUENCA, JULIO DEL 2011

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 1

### FUNDAMENTACION TEÓRICA

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

Los seres humanos durante toda nuestra vida generamos basura, que es un subproducto de las actividades que realizamos desde el momento que nacemos; la basura se produce continuamente pues está ligada a diversos tipos de actividades desde la elaboración de la comida hasta más extremas como es la guerra.

Antiguamente los desechos que se generaban eran biodegradables, básicamente residuos de comida y excretas, pero esto ha ido cambiando a lo largo del tiempo, pues con la modernización los individuos adoptamos otro estilo de vida en donde el consumismo genera una variedad muy extensa de residuos difíciles de caracterizar, además producen mayor impacto ambiental y son nocivos para la salud.

El manejo de la basura presenta tres situaciones muy claras: la recolección, el barrido de las calles y áreas públicas, y la disposición final. Este último punto, que se refiere al tratamiento de la basura, ha sido el más descuidado a nivel general. En el Ecuador existen ordenanzas de limpieza desde 1822 dictadas por el mariscal Antonio José de Sucre, pero nada referente a la disposición final de la basura.

Ha pasado mucho tiempo para que la humanidad sienta la importancia de una adecuada disposición final de la basura, sin poner en riesgo las aguas subterráneas y superficiales, y causar el menor daño a la naturaleza y al hombre.

En la búsqueda de solucionar este problema, la ingeniería ha dado respuestas. Uno de los métodos más antiguos es la incineración, la cual se desarrolló y tecnificó a finales del siglo pasado y se creyó que era la solución ideal por las

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

características de los residuos que dejaba, pero se creó otro problema con la emisión de gases a la atmósfera, el alto costo de los combustibles, la construcción y mantenimiento de los incineradores, por lo tanto fue eliminado y su uso es exclusivo para residuos hospitalarios. Sin embargo, una de las soluciones más adecuadas tanto para países altamente desarrollados, medianamente desarrollados y en los sin desarrollo alguno, es el relleno sanitario.

Las características y heterogeneidad de la basura, influye en aspectos geotécnicos como la compresibilidad, la capacidad portante y la estabilidad. Por ello, en la actualidad existe una creciente participación de los profesionales geotécnicos en las etapas de elección del emplazamiento, diseño, construcción, cierre, sellado y reinserción de rellenos sanitarios.

### 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La ciudad de Cuenca en sus inicios no contaba con una adecuada disposición final de los residuos sólidos, sobre todo porque no se tenía una correcta educación de la importancia que se debe dar a la basura y a su tratamiento; pero esto ha ido cambiando gradualmente. Lamentablemente se tuvo que tocar fondo en problemas de insalubridad e impacto ambiental para tomar la decisión de construir un relleno sanitario adecuado y que cumpla con las debidas certificaciones internacionales. Actualmente, la ciudad cuenta con la intervención de un equipo de trabajo, que se encuentra debidamente capacitado para realizar esta tarea.

Varias investigaciones ratifican la teoría que es posible evaluar la estabilidad en rellenos sanitarios, analizando sus condiciones de equilibrio a partir de métodos geotécnicos tradicionales, aplicados a suelos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 1.2 INTERPRETACION DEL PROBLEMA

Precisamente, el tema de nuestra monografía se refiere al relleno sanitario actual de la ciudad de Cuenca, ubicado en la parroquia Santa Ana, dando énfasis a la investigación referente a la Estabilidad de los Taludes que son contruidos con la basura depositada en el relleno sanitario, pues es de mucha importancia la intervención profesional para controlar los parámetros de diseño en la construcción de los mismos y así evitar consecuencias posteriores que sean desfavorables, tanto para el manejo del relleno, los habitantes cercanos al relleno y el medio ambiente.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo General

El objetivo primordial del presente estudio es determinar los principales problemas de estabilidad de taludes que se presentan en el Relleno Sanitario de Pichacay, Parroquia Santa Ana, Cantón Cuenca.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Investigar el proceso de disposición final de los residuos sólidos de un relleno sanitario.
- Obtener información sobre el relleno sanitario de Pichacay, con el fin de identificar las distintas fases que intervienen en su funcionamiento.
- Identificar los principales factores que influyen en la estabilidad de taludes de un relleno sanitario.
- Conocer los posibles usos que se puede dar al suelo al término de la vida útil de un relleno sanitario.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 1.5 HIPOTESIS

Los problemas de estabilidad de taludes en el relleno sanitario de sanitario de Pichacay se deben principalmente a la erosión de la capa de cobertura, debido a la esorrentía de las aguas lluvias.

### 1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo consistió en la investigación del proceso de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cuenca, en el actual relleno sanitario de Pichacay. Y de esta manera conocer los factores relacionados con la estabilidad de taludes.

Para llevar a cabo este trabajo, fue necesario primero conocer en qué consiste un relleno sanitario, además tipos de rellenos, métodos de construcción, sus ventajas y sus desventajas.

También fue importante hacer una historia sobre el tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Cuenca, para determinar cómo ha ido evolucionando hasta conseguir el sistema actual. La dificultad de este punto es que no se tienen registros de los primeros rellenos, pero se consultó con personas relacionadas con el tema o que vivieron cercanas a estos lugares y nos pudieron proporcionar información.

Visitamos las oficinas de la EMAC en donde nos autorizaron una visita al relleno sanitario de Pichacay, en este lugar nos explicaron todo el tratamiento que se da a la basura desde la recolección, transporte y disposición final. Además tuvimos acceso a los estudios realizados para el diseño y construcción del relleno sanitario en su fase emergente.

Se evaluó toda la información para conseguir los objetivos propuestos al inicio de esta investigación.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 2

### CONCEPTOS GENERALES

#### 2.1 BOTADERO DE BASURA A CIELO ABIERTO

Es una de las prácticas de disposición final más antiguas que ha utilizado el hombre para tratar de eliminar los residuos que él mismo produce en sus diversas actividades. En los botaderos los residuos sólidos se abandonan sin ningún control sanitario, deteriorando el agua y el suelo formando gases y lixiviados. Ver Fotografía 1

Los botaderos de basura a cielo abierto son cunay hábitat de fauna nociva transmisora de múltiples enfermedades. En ellos se observa la presencia de perros, ratas, etc., y otros animales que representan un peligro para la salud y la seguridad de los pobladores de la zona. Todavía en la actualidad, los municipios abandonan sus basuras en botaderos a cielo abierto, aunque es considerado una práctica irresponsable y opuesta al desarrollo sostenible. Ver Fotografía 2



Fotografía 1: Botadero de basura a cielo abierto.

Generalmente en poblaciones pequeñas, la basura es recogida y depositada en botaderos a cielo abierto, la cual frecuentemente es quemada produciendo

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

humos nauseabundos y causa molestias a las personas que frecuentan o viven en lugares cercanos.



Fotografía 2: Quema de basura.

### 2.2 RELLENO SANITARIO

Un relleno sanitario es una técnica para la disposición de la basura en el suelo, sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, utilizando principios de ingeniería para confinar la basura en la menor área posible, reduciendo su volumen hasta la mínima cantidad posible, para luego cubrir las basuras así depositadas diariamente con una capa de tierra al final de la jornada o tan a menudo como sea necesario.(1)

Este método consiste en depositar en el suelo los desechos sólidos, los cuales se esparcen y compactan reduciéndolos al menor volumen posible para que así ocupen un área pequeña (Ver Figuras 3 y 4). Luego se cubren con una capa de tierra y se compactan nuevamente al terminar el día. (2)



Fotografía 3: Desembarque de la basura



Fotografía 4: Esparcido de la basura

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Además, como forma de minimizar el impacto ambiental y como implementación del Protocolo de Kioto los rellenos sanitarios incluyen tratamiento de lixiviados, que son los líquidos producidos por la basura, quema de gases de descomposición, principalmente el metano, planes de reforestación en el área del relleno sanitario y control de olores. Porque los residuos confinados sin tratamiento contienen un alto potencial peligro para el medio ambiente (daños en la impermeabilización en el transcurso de tiempo), en Europa ya tienen normas que exigen un tratamiento de los residuos antes de confinar para eliminar su potencial peligro tanto para el ambiente como la salud humana. (3)

Los objetivos de un relleno sanitario son básicamente los siguientes:

- El relleno sanitario es una técnica de eliminación final de desechos sólidos en el suelo que no causa molestias ni peligros para la salud y seguridad pública.
  - Tampoco perjudicar el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo.
  - Confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen.
- (4)

El relleno debe contar con los siguientes principios básicos para su funcionamiento:

- Una buena compactación de los desechos sólidos, antes y después de cubrirlos con tierra. La compactación de los desechos sólidos es preferible en capas de 0.20 a 0.30 m, y al final cuando se cubre con tierra toda la celda. De este factor depende en buena parte el éxito del trabajo diario, alcanzando a largo plazo una mayor densidad y vida útil del sitio.
- Cubrimiento diario de la basura con una capa de 0.10 a 0.20 m de tierra o material similar es fundamental.

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Desviar aguas de escorrentía para evitar en lo posible su ingreso al relleno sanitario.
- Controlar con drenajes (Ver Figura 5) y otras técnicas los líquidos o percolados y los gases que produce el relleno, para mantener las mejores condiciones de operación y proteger el ambiente.



Fotografía 5: Impermeabilización y construcción del sistema de drenaje para lixiviados en Pichacay

- Evitar por medio de canales y drenajes que el agua de lluvia ingrese al relleno sanitario.
- Supervisión constante mientras se vacía, se recubre la basura y se compacta la celda para conservar el relleno en óptimas condiciones. Esto implica tener una persona responsable de la operación y el mantenimiento.
- La altura de la celda es otro factor importante a tener en cuenta; para el relleno sanitario manual se recomienda una altura entre uno y 1.5 metros para disminuir los problemas de hundimientos y lograr mayor estabilidad.
- Una regla sencilla indica que alcanzar una mayor densidad resulta mucho mejor desde el punto de vista económico y ambiental.
- El cubrimiento final de unos 0.40 a 0.60 m de espesor, se efectúa siguiendo la misma metodología que para la cobertura diaria (Ver Figura

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

6); además, debe realizarse de forma tal que sostenga vegetación para lograr una mejor integración al paisaje natural. (4)



Fotografía 6: Vertedero en Hong Kong

### 2.2.1 Principales Elementos de un Relleno Sanitario

#### 2.2.1.1 Líquido percolado

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, muy parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

De otro lado, las aguas lluvias que atraviesan las capas de basura, aumentan el volumen de los lixiviados en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los desechos; de ahí la importancia de interceptar y desviar las aguas de escorrentía y pequeños hilos de agua antes del inicio de la operación, puesto que si el volumen de este líquido aumenta demasiado puede causar no sólo problemas en la operación del relleno, sino también contaminar las corrientes de agua, los nacimientos y los pozos vecinos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **2.2.1.2 Gases**

Un relleno sanitario no es otra cosa que un digestor anaeróbico en el que, debido a la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos, no sólo se producen líquidos, sino también gases y otros compuestos. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo un adecuado control de la generación y migración de estos gases (metano y dióxido de carbono).

### **2.2.1.3 Material de cobertura**

Una de las diferencias fundamentales entre un relleno sanitario y un botadero a cielo abierto es la utilización de material de cobertura para separar adecuadamente las basuras del ambiente exterior y confinarlas al final de cada jornada. El cubrimiento diario de los desechos sólidos con tierra es de vital importancia para el éxito del relleno sanitario, debido a que cumple las siguientes funciones:

- Prevenir la presencia y proliferación de moscas y gallinazos.
- Impedir la entrada y proliferación de roedores.
- Evitar incendios y presencia de humo.
- Minimizar los malos olores.
- Disminuir la entrada del agua de lluvias a la basura.
- Orientar los gases hacia las chimeneas para evacuarlos del relleno sanitario.
- Dar una apariencia estética aceptable.
- Servir como base para las vías de acceso internas.
- Permitir el crecimiento de vegetación. (5)

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## 2.2.2 Tipos de Rellenos Sanitarios

### ***2.2.2.1 Relleno sanitario mecanizado:***

El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc. (4)



Fotografía 7: Tendido de la basura con tractor.

### ***2.2.2.2 Relleno sanitario semimecanizado:***

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de residuos sólidos en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. (4)

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **2.2.2.3 Relleno sanitario manual:**

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen menos de 15 toneladas por día, además de sus condiciones económicas, no están en condiciones de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término *manual* se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas. (4)

### **2.2.3 Métodos de Construcción de un Relleno Sanitario**

Para construir un relleno sanitario es importante seleccionar el terreno que reúna condiciones técnicas adecuadas como son: topografía, nivel a que se encuentran las aguas subterráneas y disponibilidad de material para cubrir la basura.

De acuerdo con las características del terreno, el relleno sanitario puede construirse siguiendo los métodos de zanja, área, rampa o combinado área y rampa. (2)

#### **2.2.3.1 Método de Zanja o Trinchera**

Se utiliza generalmente en terrenos planos (Ver Figura 1). Este tipo de relleno sanitario es probablemente uno de los más prácticos y apropiados, ya que su operación es sencilla y la escasez de material de recubrimiento no produce problemas siempre que el terreno para este sistema de disposición final sea convenientemente elegido.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

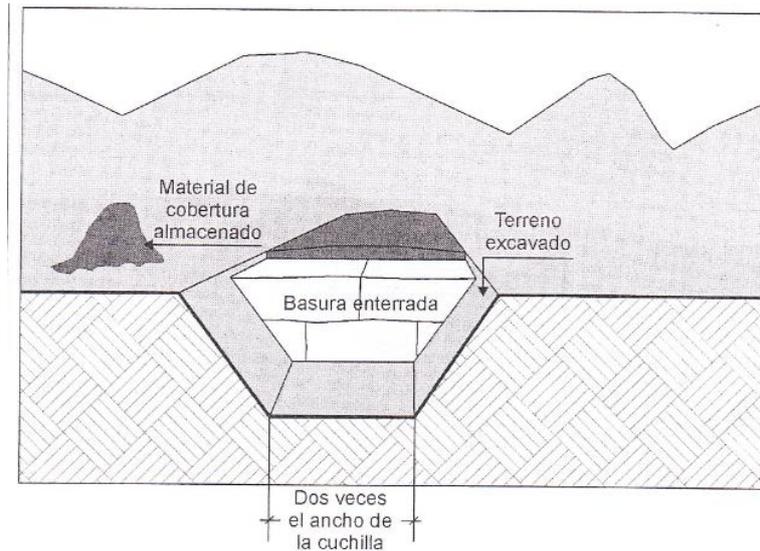


Figura 1: Relleno sanitario tipo trinchera

Se hace una zanja de 2 o 3 metros de profundidad. La basura se deposita dentro, luego se compacta y se va cubriendo con la misma tierra que se sacó de la zanja. (6)

### **2.2.3.2 Método de Área**

Se puede utilizar tanto en terrenos planos como para rellenar depresiones y en tajos o canteras abandonados, hondonadas naturales y artificiales, pozos producidos por extracción de materiales (ripió, arena, arcilla), lugares pantanosos o marismas, terrenos adyacentes a los ríos u otros similares (Ver Figura 2).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

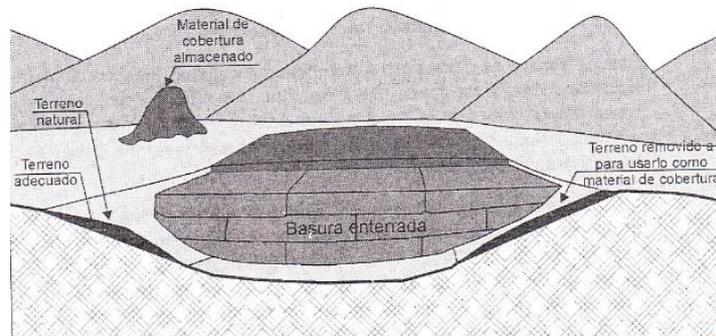


Figura 2: Relleno sanitario tipo área

La tierra utilizada para cubrir la basura debe ser traída de otros sitios como laderas o montañas. La basura se deposita directamente en el suelo, en el caso del terreno plano; o de partes más profundas hacia las más altas, en el caso de las depresiones.

La basura se esparce, compactada y recubre diariamente con una capa de 10 a 20 cm, de tierra. (6)

### **2.2.3.3 Método de Rampa**

Se utiliza en terrenos con declives moderados, aun cuando puede diseñarse para ir formando escalones en terrenos de pendientes más o menos pronunciadas, haciendo pequeñas excavaciones para lograr el material de recubrimiento. (Ver Figura 3). (6)

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

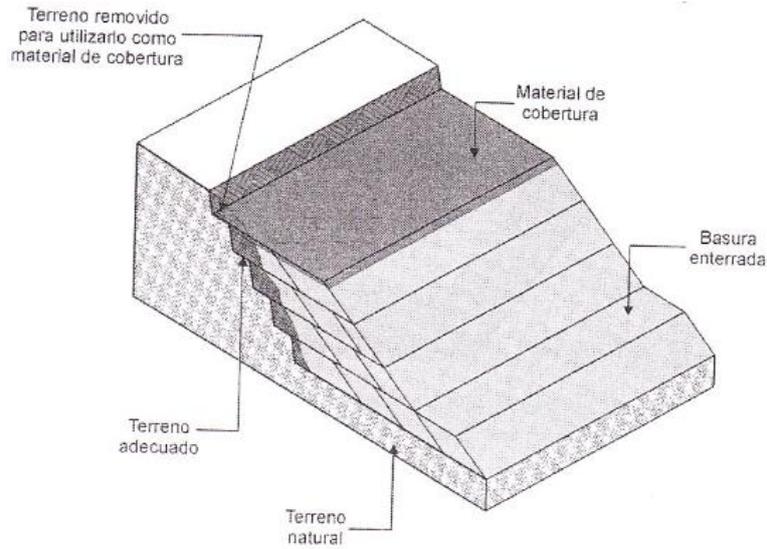


Figura 3: Relleno sanitario tipo rampa

### 2.2.3.4 Método Combinado

Se utiliza cuando los rellenos sanitarios son muy grandes, se construyen generalmente sobre grandes extensiones donde se encuentran muchas formas de terrenos y no se puede asegurar que es tipo área o rampa, sino una combinación de éstas. (Ver Figura 4). (6)

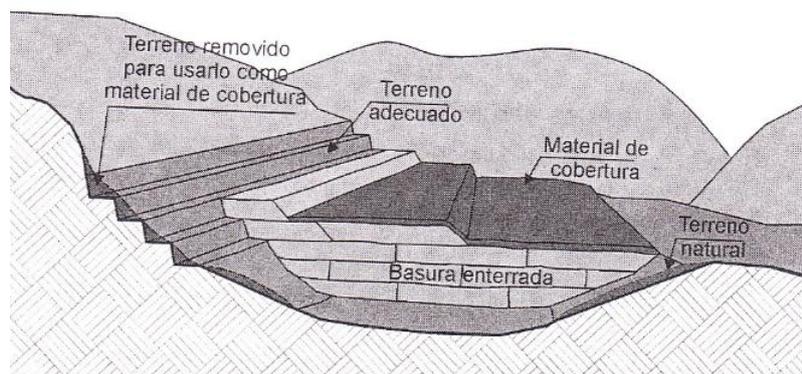


Figura 4: Relleno sanitario combinado área y rampa

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 2.2.4 Ventajas y Desventajas de los Rellenos Sanitarios

Las ventajas que tiene un relleno sanitario son las siguientes:

- La inversión inicial del capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración.
- Tienen menores costos de operación y mantenimiento que los demás métodos de tratamiento.
- Es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de residuos sólidos.
- Genera el empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 ton/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.
- Permite recuperar terrenos que se consideran improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.
- Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.

Un relleno sanitario tiene las siguientes limitaciones:

- La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado. Esto se debe principalmente a:
  - La falta de conocimientos sobre la técnica del relleno sanitario.
  - Se asocia el término *relleno sanitario* al de botadero a cielo abierto.
  - La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni sostenibilidad de la obra.
- El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno y el alto riesgo de transformarlo en un botadero a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.
- La limitación para construir infraestructura pesada para los asentamientos y hundimientos después de clausurado el relleno.
- Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para que la población use el sitio indebidamente.
- Puede ocasionar impacto ambiental a largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. En rellenos de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que confluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno.
- Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.

### 2.2.5 Impacto Ambiental de los Rellenos Sanitarios

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a la acción antrópica o a eventos naturales.

A los vertederos tradicionales actuales es destinada la basura generada por un grupo o asentamiento humano. Ésta, por lo común, contiene de forma revuelta restos orgánicos (como comida), plásticos, papel, vidrio, metales, pinturas, tela,

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

pañales, baterías, y una gran diversidad de objetos y sustancias consideradas indeseables. (3)

En el proceso de descomposición de la materia en los vertederos, se forman lixiviados que arrastran los productos tóxicos presentes en la basura, y contaminan las aguas subterráneas, que en ocasiones se utilizan para consumo humano y riego. (3)

Se liberan al aire importantes cantidades de gases como metano, CO<sub>2</sub> (gas responsable del efecto invernadero) o gases tóxicos como el benceno, tricloroetileno, etc. (3)

Durante los incendios accidentales o provocados en dichos vertederos, se liberan a la atmósfera al arder productos clorados, algunos tan tóxicos como las dioxinas, declarada cancerígena por la Organización Mundial de la Salud (OMS). A pesar de los esfuerzos por recuperar los materiales contenidos en los residuos, los vertederos siguen siendo necesarios como infraestructura para la eliminación de residuos. (3)

La reducción de los impactos ambientales, anteriormente apuntados, puede conseguirse diseñando los vertederos de modo que se evite la contaminación del entorno en el que se ubican. (3)

En este sentido, deben tomarse medidas para la impermeabilización de los vertederos y la instalación de sistemas de recogida de lixiviados, de modo que se evite la contaminación del agua y el suelo. También pueden prevenirse algunos impactos de los vertederos mediante sistemas de recuperación del biogás producido en la descomposición de la materia orgánica. (3)

Una solución para eliminar los problemas tanto de emisiones de biogás como lixiviados altamente contaminados es el tratamiento mecánico biológico cual además de la eliminación de biogás y contaminación de lixiviados disminuya notablemente el volumen a confinar y abre la opción de elaborar ganancias con la certificación y comercialización de bonos de carbono. (3)

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 2.3 ESTABILIDAD DE TALUDES

Se comprende bajo el nombre genérico de taludes cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente la estructura de tierra. Se clasifican en taludes naturales, denominados también laderas, y taludes artificiales, dentro de los que están los cortes y terraplenes.

El desarrollo de las vías de comunicación, tales como canales, caminos o ferrocarriles, así como el impulso que la construcción de presas de tierra ha recibido en todo el mundo en los últimos años, ha puesto al diseño y construcción de taludes en un plano de importancia ingenieril de primer orden.

Hasta el principio de este siglo los taludes se manejaron con normas puramente empíricas, sin ningún criterio generalizador de las experiencias adquiridas. No fue hasta el advenimiento de la Mecánica de Suelos, que fue posible aplicar al diseño de taludes normas y criterios que tomasen en cuenta las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constitutivos.

Los métodos de estabilidad de taludes se encasillan hoy entre los de *análisis límite*, que consisten todos en imaginar un mecanismo de falla para el talud y aplicar a tal mecanismo los criterios de resistencia del material, de manera de ver si, con tal resistencia, hay o no posibilidad de que el mecanismo supuesto llegue a presentarse.

Además casi siempre se ha imaginado que el fallo ocurre por un deslizamiento de la masa de suelo actuando como un cuerpo rígido, a lo largo de una falla supuesta. Se considera que a lo largo de esa superficie de falla el suelo desarrolla la máxima resistencia.

Fellenius (1927), es uno de los investigadores más importantes en el campo de los taludes, pertenece a la escuela sueca, que propuso asimilar la superficie de

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

falla real a una cilíndrica, a fin de facilitar los cálculos, aunque se sabe que esta falla circular no representa el mecanismo real. Actualmente reciben el nombre genérico del método sueco aquellos procedimientos de cálculo de estabilidad de taludes en que se utiliza la hipótesis de falla circular.

Para el caso de suelos con cohesión y fricción ideo el procedimiento de las dovelas, que consiste en dividir en dovelas la masa de tierra deslizante y analizar el equilibrio de las mismas como un todo.

Bishop (1955), hizo un análisis del método de las dovelas presentado en 1936 por Fellenius, planteando una hipótesis más real en relación con las fuerzas laterales que actúan en una dovela. Tanto en método de las dovelas de Fellenius como el de Bishop, constituyen los métodos aproximados de mayor utilización mundial.

La estabilidad de taludes se define mediante el valor del factor de seguridad. Para cada circunferencia de falla se tiene un factor de seguridad y el objetivo es obtener el mínimo factor de seguridad, para éste compararlo con el factor de seguridad de la norma.

Si  $FS < 1$ , el talud es inestable

Si  $FS = 1$ , Falla insipiente

Si  $FS > 1$ , el talud es estable

Si  $FS \geq 1$ , el talud es estable y seguro

El factor de seguridad depende de:

- La representatividad de los parámetros mecánicos del suelo, obtenidos en la investigación geotécnica.
- El método de cálculo de estabilidad de taludes que se está utilizando.
- La aproximación con se definan los valores de las presiones intersticiales

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 3

### MARCO TEORICO

#### **3.1 NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS EN EL ECUADOR**

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Esta Norma establece los criterios para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde su generación hasta su disposición final. La presente Norma Técnica no regula a los desechos sólidos peligrosos.

La presente norma técnica determina o establece:

- De las responsabilidades en el manejo de desechos sólidos
- De las prohibiciones en el manejo de desechos sólidos
- Normas generales para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos.
- Normas generales para el almacenamiento de desechos sólidos no peligrosos.
- Normas generales para la entrega de desechos sólidos no peligrosos.
- Normas generales para el barrido y limpieza de vías y áreas públicas.
- Normas generales para la recolección y transporte de los desechos sólidos no peligrosos.
- Normas generales para la transferencia de los desechos sólidos no peligrosos.

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Normas generales para el tratamiento de los desechos sólidos no peligrosos.
- Normas generales para el saneamiento de los botaderos de desechos sólidos.
- Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno manual.
- Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno mecanizado.
- Normas generales para la recuperación de desechos sólidos no peligrosos.

La norma tiene como objetivo la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en lo relativo al recurso aire, agua y suelo. El objetivo principal de la presente norma es salvaguardar, conservar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.

Las acciones tendientes al manejo y disposición final de los desechos sólidos no peligrosos deberán realizarse en los términos de la presente Norma Técnica.

A continuación se describen los puntos de la norma que son de interés para el desarrollo de nuestra investigación:

### ***4.9 Normas Generales para el Tratamiento de Desechos Sólidos no Peligrosos***

Las presentes disposiciones se refieren a procesos convencionales a los que deben someterse los desechos sólidos, cuando a consideración de las Municipalidades o de las entidades pertinentes así se considere necesario.

**4.9.1** Los desechos sólidos cuando luego del análisis de factibilidad técnica, económica y ambiental no puedan ser reciclados o reutilizados, deberán ser tratados por el generador de los desechos, con la finalidad de mejorar sus

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

condiciones para su disposición final o eliminación, por ello los fines del tratamiento son:

- a) Reducción del volumen.
- b) Reducción del peso.
- c) Homogeneización de componentes.
- d) Reducción del tamaño.
- e) Uniformización del tamaño.

**4.9.2** El funcionamiento de las plantas de tratamiento de desechos sólidos deberá contar con la autorización de funcionamiento expedida por la Entidad Ambiental de Control.

**4.9.3** Todo proyecto de construcción, ampliación o modificación de plantas de tratamiento de desechos sólidos deberá tener la aprobación de la Entidad Ambiental de Control

**4.9.4** En el funcionamiento de los incineradores de desechos sólidos, deberá darse cumplimiento a las disposiciones contempladas en la presente Norma para la Prevención y Control de la contaminación del aire.

**4.9.5** Para detalles específicos relacionados con el sistema de tratamiento de desechos sólidos, se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que elaborará el Ministerio del Ambiente.

### **4.10 Normas Generales para el Saneamiento de los Botaderos de Desechos Sólidos**

**4.10.1** La siguiente información básica se deberá obtener como paso previo para sanear un botadero de desechos sólidos:

- a) Población que atiende el Botadero de desechos sólidos.
- b) Datos generales sobre las características de la Población que se atiende con el Botadero de desechos sólidos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- c) Cantidad de desechos sólidos producidos por la población atendida.
- d) Producción futura de desechos sólidos.
- e) Cantidad de desechos sólidos recolectados.
- f) Cobertura del servicio.
- g) Composición física de los desechos sólidos.
- h) Composición química de los desechos sólidos.
- i) Peso específico de los desechos sólidos.
- j) Producción de lixiviados y gases.
- k) Localización general del sitio, con relación a la población atendida.
- l) Geología de la zona.
- m) Topografía del área.
- n) Meteorología.
- o) Posibilidad de material de cobertura.
- p) Censo vehicular (viajes de desechos sólidos que entraran en el Botadero).
- q) Títulos de propiedad.

**4.10.2** Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se deberá realizar el diseño respectivo que tendrá como mínimo los siguientes requisitos:

### **4.10.2.1 Información Previa**

Comprende la información correspondiente a la comunidad, por intermedio de la prensa hablada y escrita, indicando cuando se inician las obras, en qué consisten, cuál debe ser la participación de los usuarios y cuál será su uso futuro.

### **4.10.2.2 Servicio de Vigilancia**

Se determinará el número de vigilantes para que realicen sin ser limitativas las siguientes actividades:

- a) Controlar y vigilar a las personas que llegan.
- b) Controlar y vigilar los vehículos que entran y salen.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- c) Facilitar las obras correspondientes al saneamiento.
- d) Proteger la maquinaria y sacar los animales.

### **4.10.2.3 Cerco y Puerta**

Se deberá diseñar un encerramiento de la propiedad por medio de un cerco que indique los límites y controle la entrada de animales que puedan dañar los trabajos que realizarán en el sitio.

### **4.10.2.4 Caseta de Control**

Se deberá diseñar una Caseta de Control, a la entrada del Botadero de Desechos Sólidos la cual tendrá como funciones principales resguardar de las inclemencias del clima a los vigilantes que controlan la entrada al sitio, tener un lugar donde guardar las hojas de control de entrada de personal; y camiones con desechos sólidos, guardar los elementos menores de trabajo y ser un lugar en donde puedan cambiarse y guardar la ropa los trabajadores. Además deberá tener espacio para un pequeño escritorio, casillas para la ropa de los trabajadores y un cuarto donde guardar las herramientas menores de trabajo, tales como palas, picas y carretas.

### **4.10.2.5 Recolección de lixiviados**

Se deberán localizar los sitios donde se ubicarán los filtros o canales para los lixiviados, además se diseñarán y construirán los mismos, para que los lixiviados por gravedad se dirijan hacia las partes bajas, y luego a su tratamiento como paso previo a su disposición final.

### **4.10.2.6 Medición del Caudal de Lixiviados y dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento**

Se deberá diseñar la medición del caudal de lixiviados y dimensionamiento del tanque de almacenamiento, en el sitio donde se concentren o donde lleguen los canales recolectores.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Se deberá diseñar un tanque de almacenamiento, con una capacidad de por lo menos tres días de producción en el mes más lluvioso.

El tanque de almacenamiento deberá tener su correspondiente diseño estructural.

**4.10.3** Se deberá realizar como mínimo los siguientes análisis físico-químicos a los lixiviados captados como efluentes del Botadero de desechos sólidos:

Temperatura, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totales, nitrógeno total, fósforo total, dureza, alcalinidad, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, hierro, sodio, potasio, sólidos disueltos, plomo, mercurio, cadmio, cromo total, cianuros, fenoles y tensoactivos.

Basándose en los resultados obtenidos inicialmente, se deberá decidir el listado de los parámetros a medir periódicamente.

### **4.10.4 Manejo de Gases**

El manejo de gases deberá realizarse mediante el uso de chimeneas y su combustión se hará mediante un quemador o mechero encendido para quemar el gas que sale de las chimeneas.

### **4.10.5 Estabilidad de Taludes**

Se deberá diseñar taludes estables, analizando la estabilidad estática y dinámica (sismos).

### **4.10.6 Control de Aguas Lluvias**

El control de las aguas lluvias deberá realizarse por medio de canales interceptores, que no permitan que las aguas lluvias pasen sobre los desechos sólidos.

Estos canales deberán diseñarse teniendo en cuenta la intensidad de las lluvias, el área drenante y el tipo de suelo.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **4.10.7 Otros Controles**

Se debe realizar el diseño, que como mínimo contendrá los siguientes controles:

- a) Control de Animales Grandes.
- b) Control de Insectos y Roedores.
- c) Control de Papeles y Plásticos.
- d) Control de Olores.
- e) Control de Recuperadores.
- f) Control de Incendios.
  - Control de pequeños incendios.
  - Control de grandes incendios.

### **4.10.8 Compactación y Cobertura**

Se debe diseñar la compactación y cobertura de los desechos sólidos del Botadero en saneamiento.

La cobertura se la realizará usando un material impermeable que minimice la infiltración de aguas lluvias.

### **4.10.9 Diseño de la Celda Diaria**

Mientras se cierra el botadero de desechos sólidos y se lleven los desechos sólidos a este sitio, se debe diseñar una Celda Diaria.

### **4.10.10 Recuperación Edáfica**

Se deberá diseñar la recuperación edáfica la cual comprende básicamente el suavizar las pendientes, rellenar las oquedades, confinar y cubrir los desechos sólidos destapados. Se sembrará pasto o vegetación de raíz horizontal, para retener el suelo y protegerlo contra la erosión.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Se realizará un diseño paisajístico para entregar a la comunidad los terrenos ya recuperados y darle una utilización racional y acorde a las necesidades de la población.

### **4.10.11 Recursos Humanos y Equipos**

Se determinará los recursos humanos y equipos que se necesitarán para sanear el Botadero de Desechos Sólidos.

### **4.10.12 Vías de Acceso**

En el caso que un Botadero de Desechos Sólidos se quiera continuar utilizando como un Relleno Sanitario, se deberá diseñar un buen sistema de vías, que operen tanto en época seca como de lluvias.

### **4.10.13 Conversión a Relleno Sanitario**

Después de saneado el Botadero de Desechos Sólidos y si se desea utilizarlo como Relleno Sanitario, deberá observarse lo estipulado en la presente norma sobre lo establecido para Rellenos Sanitarios.

### **4.10.14 Costos**

Todos los diseños de las obras para el Saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos deberán incluir una evaluación económica la cual incluirá el análisis de precios unitarios.

### **4.10.15 Normas de Diseño**

Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se deberá utilizar las Normas de Diseño vigentes y la Autoridad competente elaborará las Normas de Diseño pertinentes que hagan falta para viabilizar lo establecido en estas normas sobre Saneamiento de Botaderos de Desechos Sólidos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **4.10.16 De la realización del saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos.**

Para el saneamiento de un Botadero de Desechos Sólidos se tendrá que ejecutar lo establecido en esta normativa.

### **4.11 Normas Generales para la Disposición de Desechos Sólidos no Peligrosos, Empleando la Técnica de Relleno Manual**

Un relleno sanitario manual es un método simple de enterramiento sanitario de desechos sólido, bajo el mismo principio de relleno sanitario, pero con el empleo se mano de obra y herramientas simples.

En el relleno sanitario manual se podrán disponer, además de desechos sólidos no peligrosos, también desechos semi-sólidos no peligrosos.

Para detalles específicos relacionados con el diseño de rellenos sanitarios manuales, así como los lineamientos a seguir para la disposición de los desechos sólidos en el relleno sanitario manual se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que emitirá el Ministerio del Ambiente.

### **4.12 Normas Generales para la Disposición de Desechos Sólidos no Peligrosos, Empleando la Técnica de Relleno Mecanizado**

**4.12.1** La disposición final de los desechos sólidos consiste en colocar los desechos sólidos no peligrosos en un relleno sanitario, en el cual se realizarán procesos de degradación y transformación de los constituyentes que contiene el desecho.

La disposición sanitaria de los desechos sólidos no peligrosos debe someterse a lo dispuesto en el Código de la Salud.

**4.12.2** El relleno sanitario deberá contar con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación de las aguas subterráneas, superficiales, del aire, los alimentos y del suelo mismo.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**4.13.3** Los municipios deben expedir las regulaciones técnicas necesarias para el manejo y disposición sanitaria de los desechos sólidos no peligrosos en el relleno sanitario.

Para el efecto los municipios deberán presentar obligatoriamente a la Entidad de Control un Estudio de Impacto Ambiental.

**4.12.4** Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos para rellenos sanitarios mecanizados:

- a) El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 Km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.
- b) No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc.).
- c) El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima.
- d) Para la ubicación del relleno no deben escogerse zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc., que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.
- e) El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m. Tampoco se deben utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc.).
- f) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos.

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- g) El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción.
- h) La permeabilidad de los suelos deberá ser igual o menor que  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg; si es mayor se deberá usar otras alternativas impermeabilizantes.
- i) Se deberá estimar un tiempo de vida útil del relleno sanitario de por lo menos 10 años.
- j) El relleno sanitario deberá poseer: cerramiento adecuado, rótulos y avisos que lo identifiquen en cuanto a las actividades que en él se desarrollan, como entrada y salida de vehículos, horarios de operación o funcionamiento, medidas de prevención para casos de accidentes y emergencias, además se deben indicar la prohibición de acceso a personas distintas a las comprometidas en las actividades que allí se realicen.
- k) El relleno sanitario debe contar con los servicios mínimos de: suministro de agua, energía eléctrica, línea telefónica, sistema de drenaje para evacuación de sus desechos líquidos, de acuerdo con la complejidad de las actividades realizadas.
- l) El relleno sanitario debe contar con programas y sistemas para prevención y control de accidentes e incendios, como también para atención de primeros auxilios y cumplir con las disposiciones reglamentarias que en materia de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial establezca el Ministerio de Salud Pública y demás organismos competentes.
- m) El relleno sanitario debe contar con servicios higiénicos apropiados para uso del personal.
- n) Se debe mantener un registro diario, disponible para la Entidad Ambiental de Control, en lo relacionado con cantidad, volúmenes y peso de

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

desechos sólidos. El análisis de la composición física y química de los desechos sólidos se realizará anualmente.

- o) Debe mantenerse en el relleno sanitario las condiciones necesarias para evitar la proliferación de vectores y otros animales que afecten la salud humana o la estética del entorno.
- p) Se debe ejercer el control sobre el esparcimiento de los desechos sólidos, partículas, polvo y otros materiales que por acción del viento puedan ser transportados a los alrededores del sitio de disposición final.
- q) Se debe controlar mediante la caracterización y tratamiento adecuado los líquidos percolados que se originen por descomposición de los desechos sólidos y que pueden llegar a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.
- r) Los desechos sólidos no peligrosos deben ser colocados y cubiertos adecuadamente.
- s) Para la captación y evacuación de los gases generados al interior del relleno sanitario se deben diseñar chimeneas de material granular, las mismas que se conformarán verticalmente elevándose a medida que avanza el relleno.
- t) Todo relleno sanitario debe disponer de una cuneta o canal perimetral que intercepte y desvíe fuera del mismo las aguas lluvias.
- u) Durante la operación del relleno sanitario, los desechos sólidos deben ser esparcidos y compactados simultáneamente en capas que no excedan de una profundidad de 0,60 m.
- v) Todas las operaciones y trabajos que demande un relleno sanitario deben ser dirigidos por una persona especialmente adiestrada para este efecto, debiendo estar su planteamiento y vigilancia a cargo de un ingeniero sanitario.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

w) El relleno sanitario en operación debe ser inspeccionado regularmente por la entidad ambiental de control correspondiente, dictándose las medidas que se crea adecuadas para corregir cualquier defecto que se compruebe en las técnicas con las que se opera en el relleno sanitario.

**4.12.5** Cuando se utilice la técnica de disposición final de desechos sólidos mediante relleno sanitario, el interesado deberá presentar a la entidad ambiental de control, para su aprobación por lo menos los siguientes requisitos:

- a) Memoria descriptiva
- b) Diseños y especificaciones técnicas.
- c) Equipamiento.
- d) Cronograma de ejecución
- e) Costos y presupuestos
- f) Anexos.

### **4.12.5 .1 Memoria descriptiva**

La memoria descriptiva constituye el resumen general del proyecto y contendrá como mínimo los siguientes aspectos:

- a) Concepción y justificación del proyecto.
- b) Descripción del lugar seleccionado.
- c) Descripción de los elementos básicos del proyecto (áreas de disposición, material de cobertura, forma de operación, drenajes, instalaciones, etc.).
- d) Información sobre los desecho sólidos a ser dispuestos (cantidad, composición, densidad, etc.).
- e) Plan de operaciones (acceso, cerco perimetral, preparación del lugar, transporte y disposición final de los desecho sólidos, sistemas de tratamiento, control de aguas, etc.).
- f) Medidas de seguridad y Plan de contingencias.
- g) Evaluación de impacto ambiental.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- h) Información acerca de la infraestructura periférica.
- i) Información acerca de la infraestructura del relleno.
- j) Estudios sanitarios, de vías, de estabilidad de taludes, geológicos, geotécnicos, de suelos, hidrogeológicos, hidrológicos e hidráulicos del sector.
- k) Estudios de construcción del relleno, construcciones auxiliares y de construcción de lotes especiales.
- l) Del control del tratamiento de efluentes líquidos y gaseosos del relleno.
- m) De las condiciones paisajísticas.
- n) Plan de inversiones y costos.
- o) Plan de mantenimiento del relleno.
- p) Plan de clausura y Posclausura.
- q) Uso futuro del área.
- r) Otros.

### **4.12.5.2 Diseño y especificaciones técnicas**

Los diseños y especificaciones técnicas deben contener por lo menos:

- a) Localización y topografía.
- b) Cortes generales y de construcción.
- c) Construcciones auxiliares.
- d) Instalaciones.
- e) Sistemas de drenaje de aguas superficiales, drenaje de gases, y drenaje de lixiviados.
- f) Tratamiento de efluentes líquidos y gaseosos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- g) Información general, acerca de: Vías de acceso, taludes, distribución del área de relleno, impermeabilización de la base del relleno, cobertura.

### **4.12.5.3 Equipamiento.**

Se debe especificar el equipo y maquinaria pesada necesarios para la habilitación, operación y clausura del relleno sanitario, compatibles con la cantidad de desecho sólidos a disponerse.

### **4.12.5.4 Cronograma de ejecución.**

El cronograma se presentará en un diagrama de barras que deberá señalar las actividades principales para la habilitación, operación, clausura y posclausura del relleno sanitario, incluyendo las fechas y plazos previstos.

### **4.12.5.5 Costos y presuestos**

Se deben presentar los análisis de costos unitarios de habilitación, operación, clausura, y posclausura del relleno sanitario, los que incluirán la mano de obra, equipo y maquinaria pesada, herramientas, materiales, etc.

El costo de habilitación comprenderá aquellos en los que habrá que incurrir para iniciar las operaciones del relleno sanitario, tales como la limpieza y deforestación, movimiento de tierras, vía de acceso, drenajes, cerco perimetral, instalaciones auxiliares, cartel de identificación, etc.

El costo de operación incluirá los costos necesarios para efectuar la disposición de los desecho sólidos, tales como descarga, esparcido, compactación, cobertura, drenaje de gases, y lixiviados, tratamientos, etc.

El costo de clausura incluirá los costos de las actividades previstas una vez concluida la operación del relleno sanitario hasta lograr su integración al paisaje circundante y su aprovechamiento para fines recreativos u otros, tales como cobertura final, arborización, etc.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

El costo de posclausura comprenderá los costos de mantenimiento de la cobertura final, los sistemas de captación y tratamiento de gases y lixiviados u otros sistemas, así como los costos necesarios para efectuar el control de la contaminación ambiental y eventuales trabajos de saneamiento.

### **4.12.5.6 Anexos.**

Los anexos deberán contar con el informe de selección del lugar, estudio geológico, hidrológico y geotécnico, memoria de cálculo, planos y demás documentos de detalle que complementen el estudio.

### **4.12.6 De las operaciones ejecutadas en el relleno sanitario**

La operación del relleno sanitario se refiere a las actividades necesarias para la disposición final de los desechos sólidos, los que se deben llevar a cabo con personal profesional, técnico y obrero calificado, así como con equipo y maquinaria pesada adecuada. Las operaciones desarrolladas en el relleno deben considerar:

- a) Control y registro del ingreso de desechos sólidos no peligrosos.
- b) Se deben establecer procedimientos para excluir la presencia de desechos peligrosos en el relleno sanitario
- c) Controlar que la disposición de los lodos industriales no peligrosos, esté autorizada previamente por la entidad de aseo.
- d) Se deben establecer procedimientos para la descarga de los desechos sólidos en el relleno sanitario.
- e) Se deben establecer técnicas o procedimientos adecuados para el esparcido, compactación y cobertura de los desechos.
- f) Se deben controlar los gases y lixiviados generados en el relleno, así como las aguas lluvias.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- g) Se deberá evitar la contaminación de aguas subterráneas y de aguas superficiales, y se realizarán controles periódicos en el relleno sanitario.
- h) Se deberá controlar vectores y roedores.
- i) Se deberá controlar la presencia de gases explosivos en el relleno sanitario.
- j) Se debe prohibir la quema de desechos sólidos en el área y alrededores del relleno sanitario.
- k) Se debe restringir el ingreso de desechos líquidos al relleno sanitario.
- l) Se debe controlar la segregación.
- m) Se deben implementar medidas de seguridad y plan de contingencias.
- n) Se deberán establecer acciones correctivas.

**4.12.7** La entidad de aseo debe ser responsable de ejercer el control y vigilancia de las condiciones que puedan originar efectos nocivos a la salud humana o al medio ambiente.

**4.12.8** Los sitios destinados para la disposición final de desechos sólidos del servicio ordinario, podrán tener usos posteriores previa autorización de la entidad ambiental de control, cuya expedición deberá fundamentarse en un informe técnico del municipio local.

**4.12.9** Se deben realizar periódicamente monitoreos de la calidad de las aguas subterráneas, por lo menos dos veces al año, para verificar la calidad de las mismas y comprobar que las actividades operacionales en el relleno sanitario se desarrollan correctamente, previniendo así cualquier posible contaminación del entorno.

Los monitoreos deben ser realizados por el personal técnico que se encuentre a cargo de la realización de los análisis respectivos en el relleno sanitario y serán reportados al municipio.

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**4.12.10** Para la determinación de las características de las aguas subterráneas, se debe escoger punto de control, ubicado como máximo a 150 metros del relleno, siempre que no exceda los límites del mismo, en caso contrario el punto de control deberá ubicarse dentro de los límites del relleno sanitario.

Los niveles máximos de contaminantes básicos en el punto de control a considerar son los siguientes. (Ver tabla 1)

TABLA 1. NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES  
BÁSICOS

### A MONITOREAR EN EL PUNTO DE CONTROL

<b>Sustancia química</b>	<b>Límite máximo permitido (mg/l)</b>
Arsénico	0.05
Bario	1.0
Benceno	0.005
Cadmio	0.01
Cloruro de vinilo	0.002
Cromo hexavalente	0.05
2,4 diclorofenil ácido acético	0.1
1,4 Diclorobenceno	0.075
1,2 Dicloroetano	0.005
1,1 Dicloroetileno	0.007
Endrin	0.0002
Fluoruros	4.0
Lindano	0.004
Mercurio	0.002
Metoxicloro	0.1
Nitratos	10.0
Plata	0.05
Plomo	0.05

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Selenio	0.01
Tetracloruro de carbono	0.005
Toxafeno	0.005
1,1,1 Triclorometano	0.2
Tricloroetileno	0.005
2,4,5 Triclorofenil ácido acético	0.01

**4.12.11** Además se debe realizar el monitoreo de los siguientes parámetros de significación sanitaria y las concentraciones de los contaminantes máximos serán determinadas por los municipios, responsables del manejo de los desechos sólidos.

Alcalinidad, cianuros, calcio, cloruros, cobre, componentes orgánicos (fenoles y MBAS), conductancia específica, cromo total, D.B.O<sub>5</sub>, D.Q.O., dureza, fósforo total, hierro, magnesio, nitrógeno total, pH, potasio, sodio, sólidos totales, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, sulfatos, temperatura y zinc.

**4.12.12** Los lixiviados generados deben ser tratados, de tal manera que cumplan con lo establecido en la Norma de Aguas, en lo referente a los parámetros establecidos para descarga de los efluentes a un cuerpo de agua.

**4.12.13** En el relleno sanitario mecanizado se podrá disponer, además de desechos sólidos no peligrosos, también desechos semi-sólidos no peligrosos.

**4.12.14** Para detalles específicos relacionados con el diseño de rellenos sanitarios mecanizados, se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que emitirá el Ministerio del Ambiente.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **4.13 Normas Generales para la Recuperación de Desechos Sólidos no Peligrosos**

El reuso y reciclaje de desechos sólidos tiene dos propósitos fundamentales:

- a) Recuperación de valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en el proceso primario de elaboración de productos.
- b) Reducción de la cantidad de desechos sólidos producidos, para su disposición final sanitaria.

**4.13.1** La entidad de aseo deberá propiciar el reuso y reciclaje de desechos sólidos no peligrosos, mediante campañas educativas dirigidas a la comunidad con tal fin. Impulsando la reducción de la producción, mediante la aplicación de técnicas de producción más limpia.

**4.13.2** Los municipios deberán realizar estudios que indiquen la factibilidad técnico-económica y ambiental de la implementación de un sistema de reciclaje.

**4.13.3** La aplicación de técnicas de utilización de desechos sólidos, como el co-procesamiento, serán establecidas por el Ministerio del Ambiente, mediante la elaboración de la Norma Técnica correspondiente.

**4.13.4** Los municipios deberán estudiar la localización de posibles sitios o elementos de acopio de materiales reciclables como vidrio, papel o plástico.

**4.13.5** La empresa encargada del servicio de reciclaje en coordinación con la entidad de aseo, deberán plantear ruteos paralelos alternos para la separación en la fuente y se analizará su factibilidad, mediante un estudio técnico.

**4.13.6** La entidad ambiental de control deberá establecer las condiciones de manejo y las características sanitarias que deberán cumplir los desechos sólidos, cuando sean incorporados a programas de recuperación.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**4.13.7** Todos los empaques, envases y similares deben ser de materiales tales que permitan, posteriormente el uso o consumo del respectivo producto, su reciclaje, recuperación o reuso o en su defecto, que sean biodegradables.

**4.13.8** En la etiqueta de todo producto se debe promover el reciclaje, la recuperación o el reuso del respectivo empaque o envase.

**4.13.9** La recolección y almacenamiento temporal de elementos recuperables podrá efectuarse en bodegas, antes de su traslado al sitio de clasificación y empaque, siempre y cuando se observen condiciones sanitarias y de protección del medio ambiente.

**4.13.10** La ubicación de bodegas, centros de recolección y plantas de recuperación de desechos sólidos deberá hacerse de acuerdo con las normas de planeación urbana vigentes.

**4.13.11** Para la instalación y funcionamiento de bodegas y plantas de recuperación de desechos sólidos, se requerirá la autorización de la Entidad Ambiental de Control, previo informe técnico del municipio local, de acuerdo a lo contemplado en esta Norma y en coordinación con la entidad de aseo.

**4.13.12** La operación de bodegas y de planta de recuperación de desechos sólidos deberá desarrollarse bajo las siguientes condiciones:

- a) Cumplir con las disposiciones de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial, control de contaminación del aire, agua y suelo, expedidas para el efecto.
- b) Mantener las instalaciones de fachada y acera limpias de todo desecho sólido.
- c) Asegurar aislamiento con el exterior, para evitar problemas de estética, proliferación de vectores y olores molestos.
- d) Realizar operaciones de carga y descarga y manejo de materiales recuperables, en el interior de sus instalaciones.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

e) Desinfectar y desodorizar con la frecuencia que garantice condiciones sanitarias.

**4.13.13** Sólo se realizará la separación de los desechos sólidos en las fuentes de origen y en los sitios autorizados expresamente por la Entidad Ambiental de Control, previo al informe técnico del municipio local en coordinación con la entidad de aseo.

**4.13.14** No se consideran como plantas de recuperación a las plantas industriales que utilicen como materia prima desechos sólidos reciclables y las que empleen desechos sólidos reutilizables.

**4.13.15** Para detalles específicos relacionados con la recuperación de desechos sólidos no peligrosos, se deberán utilizar las Normas de Diseño para la Elaboración de Proyectos de Sistemas de Aseo Urbano que emitirá el Ministerio del Ambiente. (7)

### 3.2 FACTORES HIDROMETEOROLÓGICOS

Para efectuar el diseño de un relleno sanitario es necesario conocer, por lo menos, los promedios mensuales de la intensidad de las lluvias, los promedios mensuales de la evapotranspiración potencial o evaporación, la intensidad y dirección de los vientos predominantes durante todo el año, los promedios de temperatura y los períodos lluviosos y secos. (6)

### 3.3 GEOTECNIA AMBIENTAL

#### 3.3.1 Densidad de los Residuos Sólidos

Es importante conocer la densidad de los residuos y su variabilidad debido a la evolución de las propiedades resistentes en el tiempo. Las dificultades para evaluarla son:

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Separación de los residuos por la capa de cobertura diaria.
- Dificultad para calcular los cambios de densidad con el tiempo y la profundidad. La mayoría de los valores publicados corresponden a residuos cercanos o en la superficie.
- Determinación del contenido de humedad de los residuos sólidos. El valor de la densidad tiene mayor utilidad si se precisan previamente algunas condiciones:
  - Composición de los RSU, incluyendo caracterización del suelo de cobertura y contenido de humedad.
  - Método de construcción del relleno y grado de compactación de los residuos.
  - Profundidad a la que se registró la densidad.
  - Edad del relleno.

Igualmente, la humedad de los residuos sólidos depende de factores vinculados entre sí, como:

- Composición inicial de los residuos sólidos.
- Condiciones climáticas locales.
- Procedimiento de trabajo (tipo y uso de cobertura diaria).
- Eficacia del sistema de manejo de líquidos lixiviados.
- Grado de humedad producido por los procesos biológicos que ocurren dentro del relleno.
- Cantidad de humedad eliminada con los gases generados.

Singh y Murphy (1990), Landva y Clark (1990), Siegel et al. (1990), Kavazanjian et al. (1995), y Fassett et al. (1994) sitúan los valores de densidad de los residuos en un rango entre 0,30 a 1,5 t/m<sup>3</sup>. Los distintos autores emplean estos valores para estimar la capacidad de rellenos y para estudios de estabilidad. Se puede asumir que los valores bajos corresponden a relleno con deficiente o nula compactación de los residuos. Los valores altos se pueden asignar a residuos antiguos bajo sobrecargas relativamente altas o rellenos modernos. (9)

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fassett et al. (1994) en un intento por aclarar los factores que afectan a la densidad, han ordenado la información de acuerdo con la energía de compactación, contenido de humedad, edad y profundidad del relleno. La energía de compactación se ha separado en tres grupos: mala compactación, vinculada a poca o ningún tipo de compactación; compactación moderada, vinculada a rellenos antiguos; y buena compactación, que representa las prácticas actuales. (9)

	<b>Mala Compactación</b>	<b>Compactación Moderada</b>	<b>Buena Compactación</b>
<b>Rango de densidad total (t/m<sup>3</sup>)</b>	<i>0.3-0.94</i>	<i>0.52-0.78</i>	<i>0.89-1.07</i>
<b>Promedio de densidad total (t/m<sup>3</sup>)</b>	<i>0.54</i>	<i>0.7</i>	<i>0.97</i>
<b>Rango de densidad seca (t/m<sup>3</sup>)</b>	<i>0.19-0.35</i>	<i>0.35-0.54</i>	
<b>Promedio de densidad seca (t/m<sup>3</sup>)</b>	<i>0.27</i>	<i>0.46</i>	

Tabla 2: Densidades en función del grado de compactación

**Fuente:**Fasset et al. 1994.

La obtención de la densidad se puede determinar mediante ensayos de campo como celdas de control a escala real, pozos y calicatas de prueba, muestras obtenidas de sondeos, y determinación de la densidad in situ. También se puede estimar la densidad a partir de mediciones topográficas del volumen del relleno y contando con el registro en peso de los residuos y el material de cobertura que conforman el volumen medido. Otra vía consiste en determinar el peso específico de cada uno de los componentes de los residuos y estimar la densidad total empleando el porcentaje en peso de cada componente. (9)

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



### 3.3.2 Parámetros Resistentes de un Relleno Sanitario

Para la evaluación de la estabilidad de un relleno se requiere el conocimiento del comportamiento, esfuerzo-deformación, y resistencia-tiempo del material, formado por capas intercaladas de basura y suelo de cobertura. La obtención de los parámetros resistentes de la masa de residuos sólidos es el paso más difícil en el análisis de estabilidad de un relleno sanitario. Es difícil adecuar ciertos ensayos de laboratorio con estos propósitos, debido a que las muestras inalteradas son difíciles de tomar y las muestras preparadas en el laboratorio no representan adecuadamente las condiciones del terreno. Por esta razón, los ensayos in situ y las observaciones en rellenos reales son especialmente útiles para la evaluación del comportamiento mecánico de los residuos. (9)

Hay incertidumbre en la interpretación de resultados de los ensayos mecánicos a residuos sólidos, por la carencia de un modelo conceptual de comportamiento de este material. Usualmente el análisis se hace sobre una base de modelos y métodos establecidos para suelo, pero en realidad los residuos sólidos están compuestos por partículas individuales con una cierta trabazón. Al igual que en suelos, la resistencia de los residuos sólidos aparentemente aumenta con el incremento de la carga normal. Sin embargo, debido a su alto contenido de materia orgánica y su conformación fibrosa, los residuos sólidos se comportan más como un suelo fibroso que como un suelo ordinario. (9)

A continuación se citan los factores que afectan las propiedades resistentes de los residuos sólidos:

- El contenido de materia orgánica y fibras.
- El grado de compactación.
- La edad y el grado de descomposición de los residuos.
- Tipo y cantidad del suelo de cobertura.

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

De acuerdo con Howland y Landva (1992), la resistencia de los residuos sólidos es de carácter primariamente friccional. Sin embargo, Mitchell y Mitchell (1992) señalan que, aunque la naturaleza cohesiva de los residuos aún no ha sido adecuadamente caracterizada, es razonable incluir un componente cohesivo en las evaluaciones de resistencia al corte. Estos autores creen que probablemente no es una verdadera cohesión, sino el resultado de la trabazón y el traslape de las partículas que componen los desechos. La suposición se basa en que, en rellenos sanitarios se han observado cortes verticales de altura considerable, permanecen estables por largos periodos de tiempo. (9)

De este mismo modo, Kolsch (1995) introduce nuevos conceptos basado en los resultados otorgados por ensayos de corte y triaxial, llevados a cabo en residuos sólidos, determinando que el comportamiento de los rellenos sanitarios sería similar a los rellenos de tierra armada. Esta teoría considera que los materiales fibrosos (plásticos, textiles, etc.) presentes en la composición de los residuos, serían capaces de crear fuerzas de tracción que dependerán del vínculo de las fibras con la masa de residuos en función de la tensión normal actuante. De este modo, la resistencia al corte dependerá de dos etapas: la primera, referente a las fuerzas de fricción en el plano de corte y, la segunda, con respecto a las fuerzas de tracción de las fibras o cohesión de las fibras. (9)

La figura 9 ilustra la interacción entre estas dos etapas, representada en una curva esfuerzo-deformacional, mostrando que para pequeñas deformaciones (Fase I) existe apenas una movilización de las fuerzas de fricción. A medida que la deformación va aumentando, las fibras comienzan a ser traccionadas (Fase II). Las fuerzas de tracción aumentan hasta alcanzar un valor máximo correspondiente a la resistencia a la tracción o vínculo de las fibras con la masa de residuos. A partir de este valor ( $Z_{max}$ ) comienza una reducción de las fuerzas de tracción donde las fibras son rasgadas y deslizadas (Fase III) hasta alcanzar el punto donde la resistencia al corte se limitará a las fuerzas de

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

fricción (Fase IV). La contribución de cada una de estas fuerzas a la resistencia al corte variará de acuerdo con la tensión normal actuante. (9)

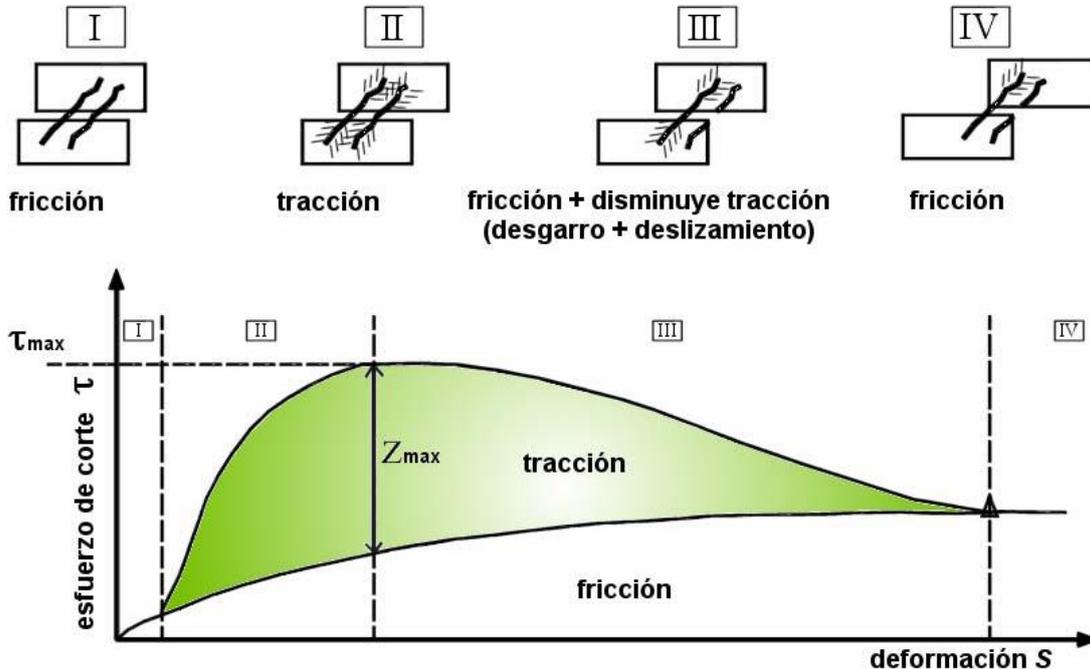


Figura 9: Comportamiento de los residuos bajo ensayos de corte, modelo de interacción entre las fuerzas de fricción y tracción.

**Fuente:** Kolosch, 1995.

La obtención de información a partir de ensayos de laboratorio requiere conseguir muestras representativas y ensayos en equipos de grandes dimensiones como las experiencias llevadas a cabo por Landva y Clark (1990), Richardson y Reynolds (1991), Jessberger y Kockel (1993) y Kolsch (1995). En los ensayos realizados por Landva y Clark, se empleó una caja de corte con sección de 434 x 287 mm. Los residuos sólidos ensayados presentaron, tanto en condiciones naturales como secos, valores de ángulos de fricción entre 24° - 34° con valores de cohesión entre 16 - 23 kPa. (9)

Otra vía para obtener parámetros resistentes consiste en realizar ensayos de campo, con lo cual se pueden obtener datos más cercanos a la realidad del relleno y establecer correlaciones con información obtenida en laboratorio.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Entre las experiencias desarrolladas in situ, las más conocidas son los ensayos de penetración y los ensayos de carga que se han empleado ampliamente. Los ensayos de penetración más utilizados son los de penetración dinámica, estos permiten trazar una distribución estratigráfica, al hacer evaluaciones cualitativas de la resistencia del relleno a la penetración relativa a diversas profundidades. Repitiendo su realización periódicamente y contrastando los resultados obtenidos, permiten analizar la variación de las características resistentes de un relleno en el tiempo. Entre los ensayos empleados, el penetrómetro Borros presenta ventajas como la simplicidad de manejo, la economía y la rapidez, además de ser muy utilizado en diferentes países. Este ensayo es asimilable al ensayo Standard Penetración Test (SPT) y resulta comparable con los ensayos de penetración normalizados por la International Society For Soil Mechanics And Geotechnical Engineering (ISSMFE). (9)

En la investigación efectuada en el relleno sanitario de Monterrey Park, California, USA (Siegel et al., 1990), concluyó que al igual que los ensayos de penetración dinámica, los ensayos de penetración estática pueden ser de utilidad para identificar zonas relativamente débiles dentro de un relleno (estableciendo perfiles cualitativos o semicuantitativos) o bien, para evaluar cualitativamente si la resistencia de los residuos cambia con el tiempo. (9)

Como alternativa para la obtención de información in situ están los ensayos de carga, que son una ayuda eficaz para estudiar el comportamiento esfuerzo-deformación de los rellenos sanitarios, aunque según Sowers, la información debe ser manejada con precaución. La heterogeneidad de los residuos y su deformabilidad aconsejan realizar ensayos con placas de grandes dimensiones, lo que en estos casos es factible ya que no es preciso llegar a niveles de tensión excesivos y en consecuencia no se requieren grandes cargas. Los ensayos con placas convencionales pueden ocasionar interpretaciones equivocadas debido a la heterogeneidad de los residuos y su deformabilidad. (9)

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Palma (1995), realizó una compilación y comparación de los parámetros resistentes publicados en la literatura especializada, derivados de investigaciones a escala de laboratorio, ensayos in situ y análisis a posteriori de casos de rotura reales, concluyendo con una banda de parámetros resistentes recomendados para el diseño. En muchos casos, la resistencia al corte está definida sobre la base de deformaciones inaceptables, antes que una verdadera rotura (Ver Figura 5). (9)

Los medios comúnmente utilizados en proyectos geotécnicos para la determinación de los parámetros resistentes como ensayos de laboratorio, ensayos in situ o cálculos a posteriori, deben ser utilizados con los criterios y consideraciones que cada situación exige.

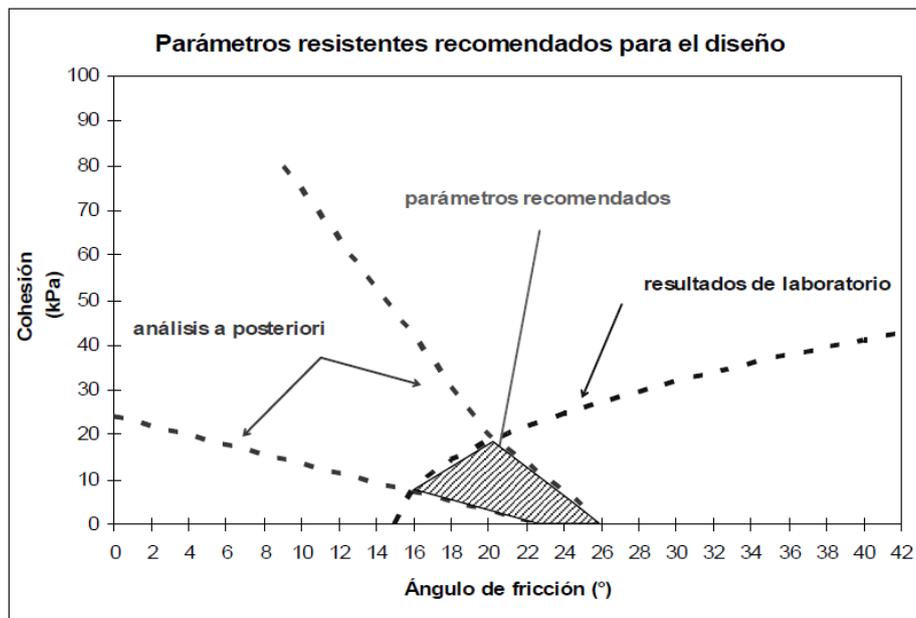


Figura 5: Parámetros resistentes para diseño en rellenos sanitarios.

Fuente: Palma J.H., 1995.

### 3.3.3 Estabilidad de Taludes en Rellenos Sanitarios

La dificultad para encontrar lugares para emplazar un relleno sanitario, contribuye a buscar alternativas para construir taludes estables y de alturas importantes. La capacidad de un relleno aumenta en función de la altura y pendiente de los taludes.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los deslizamientos en estos rellenos generan fisuraciones y agrietamientos externos que dejan los residuos descubiertos y facilitan la introducción de aguas superficiales que generan un incremento del desplazamiento, disminuyendo progresivamente la estabilidad. En algunos casos, se han producido deslizamientos causados por el peso propio, debido a que, aunque el material de relleno es liviano en sí mismo, el suelo de cobertura y de las paredes de las celdas son más pesadas. Los deslizamientos más comunes presentan superficie de rotura aproximadamente circular. En vertederos en altura se dan dos mecanismos con rotura circular. Cuando el relleno de residuos sólidos es inestable, el deslizamiento ocurre en el talud del vertedero, con círculos de rotura que pueden ser superficiales de pie o de talud. Cuando el vertedero tiene altura excesiva y está cimentado sobre arcillas blandas, se puede producir una rotura general del suelo blando de cimentación causando una superficie de rotura de círculo profundo. De lo anterior se desprende que las causas de los deslizamientos en vertederos son diversas. (11)

En la masa de residuos se puede producir un aumento de sollicitaciones por el incremento del peso propio de los materiales a causa de alturas o pendiente excesivas de los taludes o saturación del relleno. También puede disminuir la resistencia al corte de los residuos en los procesos de descomposición. Todo eso da lugar a una redistribución de esfuerzos cortantes en el relleno, que pueden llegar a ser excesivos para la resistencia intrínseca del material y ocasionar deslizamientos durante la fase de explotación del relleno o después de haber sido cerrado. Por ello, en el interior de la masa de un relleno con altura considerable, se pueden originar planos de rotura activos que alcanzan desplazamientos progresivos, los que generan fisuraciones y agrietamientos externos que dejan los residuos descubiertos y facilitan la introducción de aguas superficiales que generan un incremento del desplazamiento, disminuyendo progresivamente la estabilidad. (9)

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En resumen, la inestabilidad del cuerpo del relleno sanitario puede manifestarse de las siguientes formas:

- Fracturas en el subsuelo. Estas pueden causarse por diferencias de asentamientos en el subsuelo de fundación o porque la capacidad portante de éste se ve excedida.
- Fracturas del talud. Estas podrían ocurrir cuando los taludes son demasiado inclinados.
- Colapso de los muros de partida cuando se encuentran demasiado saturados o cuando no son capaces de sostener la presión de los residuos.
- El suelo fluye o resbala bajo las capas de residuos. Debido a una insuficiente compactación o a una alta saturación.
- Deslizamientos de residuos a lo largo de fracturas en el cuerpo del relleno, al existir asentamientos diferenciales que fracturarían zonas del relleno.
- Inestabilidad de ciertas zonas construidas en el cuerpo del relleno. Ruptura de cañerías de drenaje u otras partes del relleno que podrían originar diferencias en asentamientos, llevándolos a la inestabilidad.
- Inestabilidad en zonas de interfaces. Un sistema de sello generalmente consiste en uno o más suelos y/o materiales geosintéticos. La resistencia al corte de estos materiales y la fricción de cada interfaz como suelo/geosintético, suelos/residuos y geosintéticos/geosintéticos determinan cuan susceptible es a fallar en respuesta a las fuerzas generadas por el peso de los residuos sólidos.

En las evaluaciones de estabilidad realizadas a rellenos sanitarios chilenos, los supuestos considerados por estos autores han sido: determinar la geometría del relleno sanitario, asumir una condición homogénea del material del relleno, comprobar la situación del nivel piezométrico al momento del análisis y una selección de diversos parámetros resistentes, obtenidos a través de

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

experiencias internacionales, ensayos de penetración, de carga o back analysis, entre otros datos relevantes para la evaluación. (9)

Para determinar la estabilidad, se utilizarán métodos de equilibrio límite, como el de Bishop modificado.

A continuación se presenta la fotografía del deslizamiento del antiguo botadero de Navarro, tomada el 13 de Septiembre del 2001. Este botadero tenía una altura de 62 m. (Ver Fotografía 8)



Fotografía 8: Deslizamiento del antiguo botadero de Navarro

### 3.3.4 Asentamientos en Rellenos Sanitarios

Sowers, fue el primer investigador que planteó un modelo para predecir estos asientos. Aunque con posterioridad al planteamiento de este investigador se han desarrollado una serie de modelos conducentes al estudio de la compresibilidad de los rellenos, la mayoría de ellos se basa en sus hipótesis iniciales, las que establecen que los asientos iniciales producidos por

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

mecanismos mecánicos, se pueden determinar mediante la expresión de la teoría de la consolidación primaria:

$$S_p = \frac{C_c}{1 + e_0} H_0 * \log \left( \frac{\sigma_{v0} + \Delta\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}} \right) \quad [3.3.4.1]$$

Donde:

$S_p$  = Asiento al final de la consolidación primaria.

$H_0$  = Altura inicial del relleno.

$C_c$  = Coeficiente de compresibilidad.

$\sigma_{v0}$  = Presión efectiva en el relleno.

$\Delta\sigma_{v0}$  = Sobrecarga efectiva.

$e_0$  = Índice de vacíos.

Terminada la primera fase aproximadamente al cabo de un mes, según Sowers, los asientos debido a cambios físico químicos, degradación biológica y compresión mecánica secundaria, en condiciones ambientales estables tienen un comportamiento más o menos lineal con el logaritmo del tiempo, similar a la compresión secundaria de suelos y se determinan mediante la teoría de la consolidación secundaria, aplicando la expresión:

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_0} H * \log \left( \frac{t_1}{t_2} \right) \quad [3.3.4.2]$$

Donde:

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

$S_s$  = Asentamiento durante la consolidación secundaria al tiempo  $t_2$

$H$  = Altura de la celda al tiempo  $t_1$

$C_{\alpha}$  = índice de compresión secundaria

$t_2$  = Tiempo de estimación de asientos

$t_1$  = Tiempo de inicio de la consolidación secundaria

La obtención del coeficiente de compresibilidad ( $C_c$ ) y del índice de compresión secundaria ( $C_{\alpha}$ ) se hace a partir de la relación de estos parámetros con el índice de poros ( $e_o$ ), en gráficos propuestos por Sowers (Figuras 6 y 7) Estos parámetros arrojan una adecuada correlación cuando se trata de residuos con alto contenido de materia orgánica. Este criterio ha sido el más empleado hasta ahora para predecir los asientos en un relleno sanitario. (12)

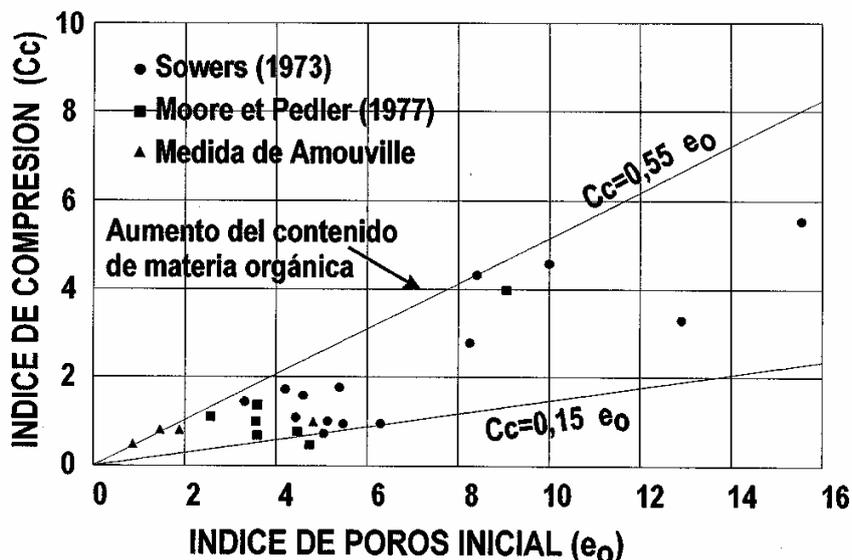


Figura 6: Índice de compresión (Sowers, 1973)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

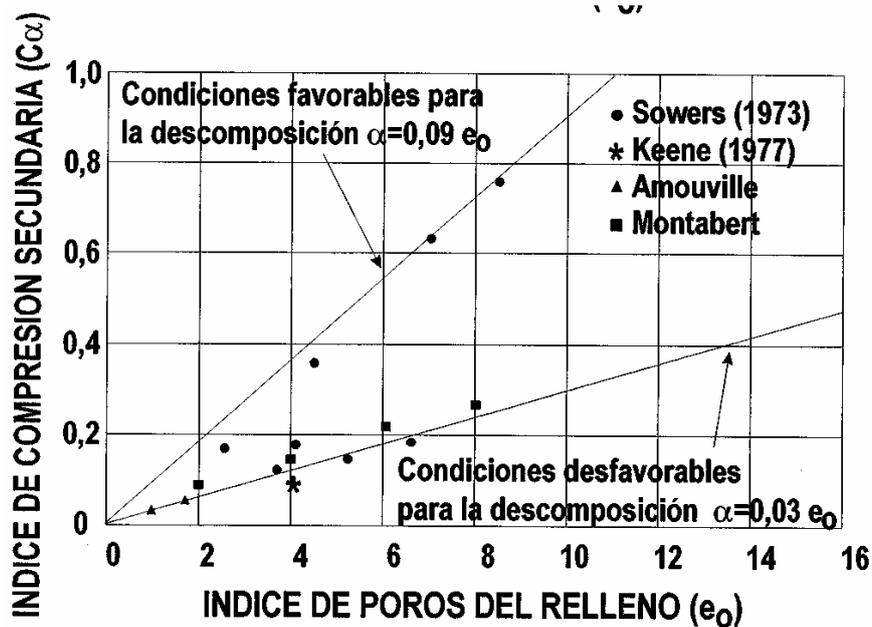


Figura 7: Índice de compresión secundaria (Sowers, 1973)

Los asientos medidos por el Distrito Sanitario de Los Ángeles (USA), para su vertedero controlado SPADRA, son de aproximadamente 0,2 a 0,3 m/año en un relleno de residuos de 31 m. de espesor. Los asientos finales pueden llegar a un 30% de la altura de los desechos (Hinkle, 1990). Todos estos estudios muestran una concordancia de la influencia de la densidad de compactación en los valores de los asientos unitarios. (12)

Entre los modelos para el estudio de asientos, destacan la ley exponencial propuesta por Gandolla (1992), y el modelo Meruelo (Arias, 1994), (Palma, 1995). Este modelo es uno de los más avanzados actualmente y ha sido desarrollado en España, entre la Universidades Católica de Valparaíso y de Cantabria. Es el único modelo que considera en su planteamiento inicial y en su formulación, los fenómenos de degradación de la materia orgánica como causantes de los asientos secundarios no debidos a sobrecargas externas. Los parámetros fundamentales considerados son el tiempo, el contenido de materia orgánica en los residuos, la humedad y el ritmo de desarrollo de los procesos de degradación, entre otros. (12)

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



### 3.3.5 Capacidad de Soporte de un Relleno Sanitario

La capacidad de soporte de un relleno sanitario, en general es reducida y dependerá de factores como espesor del suelo de cobertura, composición de los residuos sólidos, método de construcción y maquinaria utilizada entre otros. El factor más significativo es el espesor relativo de la capa superficial de suelo sobre el relleno sanitario más esponjoso y flexible. Cuando la cimentación es relativamente pequeña comparada con el espesor del suelo de cobertura o capa superficial, puede punzonar a través de la capa superficial y hacia el interior del relleno de residuos. Cuando la cimentación es algo mayor y el relleno de residuos no es significativamente menos débil que la capa superficial superior, la rotura puede ocurrir por rotación de un segmento de suelo de cobertura y del relleno actuando como unidad (Sowers, 1968). Según este autor la capacidad de soporte está entre 0,25 y 0,40 kg/cm<sup>2</sup>, advirtiéndose que los ensayos de placa de carga con placas pequeñas pueden ocasionar impresiones equivocadas en la capacidad de soporte de un relleno. Para Cartier y Baldit (1983) la capacidad portante está entre 0,25 y 1 kg/cm<sup>2</sup>. (12)

El CEDEX de España, plantea que las investigaciones realizadas hasta la fecha, indican que los RSU(Residuos Sólidos Urbanos) compactados tienen un comportamiento muy dúctil y no presentan una tensión de rotura determinada, sino que en la mayoría de los casos, se agota la capacidad de deformación de los sistemas de ensayo sin llegar a alcanzarse un valor de tensión constante. Por lo tanto, no es fácil definir valores de parámetros resistentes en rotura y hay que adoptar otros criterios como establecer límites en las deformaciones. El comportamiento mecánico de los RSU ha sido comparado al de la "tierra armada" debido al efecto de los elementos fibrosos que se entrecruzan actuando como un refuerzo del material. Es por esta razón que únicamente se describen roturas con planos de cizalla a través de este tipo de materiales en casos de zonas especialmente debilitadas o debidas a pérdida de estabilidad por efecto del agua. En este sentido, se puede asumir que los residuos son

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

materiales compuestos consistentes en una "matriz básica" que comprende las partículas medias y finas, más semejante a un suelo y cuyo comportamiento es friccional y en una "matriz reforzada". (12)

### **3.4 CIERRE DEL RELLENO SANITARIO.**

La clausura del relleno sanitario deberá efectuarse cuando su capacidad se haya utilizado totalmente. Una vez efectuado el cierre, sólo podrá emplearse con el uso futuro establecido en un plan de cierre establecido previamente. En caso de presentarse, posterior al cierre, grietas, hundimientos, malos olores o roedores, la empresa prestadora del servicio de aseo municipal se encargará de llevar el material de cobertura necesario y la maquinaria para corregir las fallas. El plan de monitoreo se continuará realizando al menos durante cinco años después de terminado el relleno sanitario. La información generada por el relleno sanitario reposará en las oficinas de la entidad prestadora del servicio de aseo municipal.

#### **3.4.1 Monitoreo de la Cobertura Final**

Este monitoreo tiene como finalidad la reparación de la cobertura final, que puede ser afectada por los factores climáticos y que consecuentemente produciría problemas en la conservación del relleno en la etapa de post-cierre. De acuerdo a lo anterior, se realizará el sello de grietas, recuperación de espesores, reparación de los asentamientos diferenciales y recuperación de pendientes.

Para evitar el posible ingreso de aire a los residuos confinados, se verificará la calidad de la cobertura, revisando la existencia de grietas y la disminución del espesor.

Para evitar la erosión de la cubierta vegetal que se podría ver afectada por los factores climáticos, se realizará una mantención de la cobertura final.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Se repararán los asentamientos diferenciales, recuperando espesores y dando las pendientes adecuadas, a fin de impedir la acumulación de las aguas de precipitación.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 4

### TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA.

#### 4.1 HISTORIA DE LA RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE CUENCA

En la ciudad de Cuenca, se han dado pasos gigantados en los estudios y aplicaciones de mejores sistemas de saneamiento, tomando en cuenta que éste era un tema casi desconocido por la ciudadanía y muy descuidado por los gobernantes.

Simplemente, no era considerado tema de diálogo intelectual, sino más bien como una analogía de lo denigrante, pobreza y miseria. Ocasionando que la gente tenga un concepto ambiguo de lo que implica trabajar en este ámbito.

Como muestra de este descuido sanitario, no existen registros de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos antes de 1972. Por lo que nuestra fuente de investigación más cercana, ha sido el relato de quienes fueron allegados al tema durante este tiempo.

Existía un método de barrido y recolección rústico: improvisando escobas con las ramas de retama cortadas y acopladas y utilizando tazas de carrizo o totora para la recolección de la basura. Para el transporte, tanto el municipio como particulares, alquilaban volquetes para llevar la basura a varios destinos. Según cuenta el Ing. Galo Ordoñez, el Sr. Moisés León permitía que la basura recolectada de los principales mercados de la Ciudad sea depositada en su hacienda, ubicada frente al actual colegio Borja. Debido a que la composición de la basura era básicamente materia orgánica biodegradable y servía como abono para mejorar el suelo. Luego de que la basura era depositada en la hacienda, ésta se esparcía con un tractor.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el año 1972, el Ing. Teodoro Acosta Vásquez fue financiado por el Municipio para tomar un curso de Tratamiento de Residuos Sólidos en la Universidad de West Virginia en Estados Unidos. A partir de esta fecha se puede hablar de una técnica en la disposición final de residuos sólidos.

El Ing. Acosta, fue quien diseñó y operó el primero relleno sanitario de la ciudad que se ubicó en una depresión existente al Noreste de Cuenca. Este relleno tenía dos áreas: la principal se situó entre la actual calle Vieja y Av. De las Américas y la de menor área en un lote frente a la Av. de las Américas.

Según su propio testimonio, la recolección de la basura no era continua y se colectaba alrededor de 300 toneladas diarias. La compactación se realizaba con un tractor convencional de oruga y el tape se lo hacía con material de otro sitio.

El funcionamiento del relleno data a los años 1972 y 1974 dentro de la administración del Dr. Alejandro Serrano Aguilar y el cierre del mismo se efectuó durante otra administración posterior.

Después del cierre y tratamiento de suelos en este Relleno, se construyó el parque Italia que se rodea por la Av. de las Américas, calle Quillán, calle Vieja y calle de las Laderas.

Como parte de nuestra investigación fuimos a constatar el resultado del tratamiento que se dio a este lugar. Encontramos un parque en buenas condiciones y con un aspecto muy agradable, que no deja rastro de lo que fue en épocas pasadas. (Ver Fotografía 9) Este terreno cuenta con una cancha de césped, dos canchas de hormigón, juegos infantiles, caminos, plantas y árboles. (Ver fotografías 10)

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía 9: Vista panorámica del parque Italia



Fotografía 10: Cancha de césped

La última remodelación del parque Italia se efectuó hace dos años (se realizaron las obras de drenaje de la cancha de césped y se construyeron los caminos), según nos cuenta la Sra. Elsa Atariguana, moradora del sector hace 24 años que fue cuando adquirió el terreno para construir su vivienda frente al parque. Ella nos relata que esos terrenos pertenecían a la congregación de sacerdotes de El Vecino, específicamente recuerda al sacerdote Ricardo Chamorro.

Según la Sra. Atariguana, las casas ubicadas en los alrededores del parque están construidas sobre relleno, principalmente escombros y a pesar de esto los habitantes del sector no han tenido ningún inconveniente producto del

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

relleno sanitario, debido a que han tomado las debidas precauciones en el momento de construir.

El segundo relleno sanitario de la ciudad de Cuenca, se emplazó en la Parroquia El Valle al sureste de la urbe (Ver Fotografía 11). Actualmente en este lugar funciona un Eco-parque cuya administración está a cargo de la EMAC EP, aquí encontramos al Sr. Juan Orellana quien ha trabajado desde los inicios del relleno como reciclador y actualmente cuida de los animales que viven en el parque.



Fotografía 11: Vista del relleno sanitario ubicado en la Parroquia El Valle

El Sr. Orellana, nos cuenta que el relleno sanitario empezó a operar el 24 de mayo de 1981 y se cerró el 23 de junio del 2001. Al comienzo funcionaba como botadero, en donde trabajaban varios recicladores de manera individual y sin ninguna organización, al relleno llegaba todo tipo de basura.

El cierre del relleno se provocó principalmente por presión de la comunidad de El Valle, debido a que exigían mejoras sobre todo en el aspecto vial, pues las carreteras se encontraban en mal estado por el tránsito pesado que circulaba por ellas.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En el momento del cierre del relleno se construyeron obras de drenaje para la recolección de los lixiviados, tres tanques de hormigón para su almacenamiento y con la ayuda de bombas eléctricas se rocía los lixiviados hacia el relleno. Además se construyeron chimeneas para la evacuación de los gases.

Luego del cierre del relleno sanitario ubicado en la Parroquia El Valle, en septiembre del 2001 empieza a operar el actual relleno en Pichacay, Parroquia Santa Ana (Ver Fotografía 12). Contando con un equipo capacitado para su operación y basándose en experiencias adquiridas, este relleno promete brindar una adecuada disposición final de los residuos sólidos generados por la ciudad de Cuenca y sus alrededores.



Fotografía 12: Relleno sanitario de Pichacay.

### 4.2 RELLENO SANITARIO UBICADO EN EL SECTOR EL VALLE.

El sitio de aproximadamente 9 hectáreas, ubicado en la parroquia El Valle, a 12 kilómetros al sureste de Cuenca, durante 20 años fue el depósito de la basura de la urbe.

La idea de diferenciar entre un botadero y un relleno sanitario inició en el año 2001. El entonces gerente de la Empresa de Aseo de Cuenca, Oswaldo

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Salgado planteó el cambio de concepción y visualizó la creación de un Eco-parque. Fue en ese año, en junio cuando el último carro de basura ingresó y luego se procedió a la cobertura inmediata de la basura con tierra, así como la protección del terreno con geomembrana y la construcción de drenes de lixiviados y ductos de gases para su evacuación controlada.

Como gesto de gratitud hacia la población que durante 20 años acogió la basura de la ciudad, se impulsa el proyecto Eco-parque, junto con el centro de rescate, que busca redimir la zona como lugar adecuado para la enseñanza y concienciación hacia los niños, sobre el tráfico ilegal de animales.

### 4.2.1 Eco-Parque

El antiguo botadero de basura, ahora es un Eco-parque y tiene la visión de convertirse en un centro de difusión y concienciación sobre el cuidado del medio ambiente, la preservación de animales silvestres y sobre todo ser una aula in-situ, a donde los niños llegarán para conocer la importancia de reciclar. El parque está a cargo de la bióloga Ligia Carrión.

En este lugar se observa césped (Ver Fotografía 13) y 30 cm debajo de él, se encuentran toneladas de basura que se descomponen y se compactan. Además se planifica construir una zona recreativa con juegos y canchas de uso múltiple, para esto se demolió la antigua cancha y se depositaron más escombros con la finalidad de ampliar la zona de construcción (Ver Fotografía 14).

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía 13: Césped y árboles para proteger los taludes



Fotografía 14: Área para la construcción de las canchas de uso múltiple

### 4.2.2 Centro de Rescate

Estudiante de Biología de la Universidad del Azua tiene bajo su cargo la alimentación y limpieza de jaulas y espacios donde habitan primates, felinos, mamíferos y aves silvestres rescatados o entregados para su cuidado y posterior reinserción a su hábitat natural, aquí reciben la atención médica que requieren así como las condiciones de vida de acuerdo a sus necesidades individuales. Los animales, producto del tráfico ilegal, han sido entregados

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

voluntariamente por sus dueños, muchos de ellos por sus condiciones de salud no pueden ser liberados y están condenados a vivir en cautiverio. En el lugar existen monos, cuzumbos, tortugas, una Chinchilla, ardillas, guacamayos, loros, roedores, animales domésticos, esta es una de las áreas del Eco-parque. (Ver Fotografías 15 y 16)



Fotografía 15: Una guacamaya y una lora. Fotografía 16: Tortuga

### 3.2.3 Producción de Humus

La planta de compostaje es otro de los espacios con gran importancia en el lugar, ahí la basura orgánica proveniente de los mercados de la ciudad es manejada y tratada para la elaboración de humus. Los desechos de mercados tienen un mayor contenido de materia orgánica (85%) se clasifican y recogen por separado.

Se recuperan 7 toneladas por día de materia orgánica, para la elaboración de compost y humus. Se remueve la tierra ubicada en compartimentos, a fin de que se oxigene y se transforme en humus.

Los objetivos generales de este proyecto son:

- Reducir la cantidad de desechos sólidos que se deposita en el Relleno de Pichacay.
- Disminuir la cantidad de fertilizantes químicos que se utilizan en la región.
- Contribuir a una producción agrícola más limpia y saludable.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Propender a un auto abastecimiento de suelo mejorado para los parques y áreas verdes de Cuenca, prescindiendo de utilizar suelo negro de montaña

El resultado de este proceso se denomina **BIOEMAC**, el cual es un producto biotecnológico que aprovecha el contenido de la materia orgánica que se halla presente en los residuos de los mercados de Cuenca, para transformarlos en humus mediante la actividad de las lombrices. La EMAC comercializa directamente el humus en fundas de 3 Kg (Ver Fotografía 17).



Fotografía 17: Proceso de elaboración del BIOEMAC

### 4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL RELLENO SANITARIO DE PICHACAY

El Relleno Sanitario de Pichacay fue previsto para que opere durante un período de 20 años, divididos en tres etapas bien definidas, la Primera Etapa correspondiente a la denominada Norte I, la segunda llamada Norte II (Ver

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Fotografía 18) y la tercera llamada Sur. En la actualidad se encuentra operando la segunda etapa (Norte II).

<b>Fase Norte I</b>	<b>Fase Norte II</b>
Vida útil: 2807 días (7.7 años) (03/septiembre/2001 – 11/mayo/2009)	Inicio operaciones: 12 de mayo de 2009  Vida útil proyectada: 4 años  Mejoras constructivas: Drenes de recolección de lixiviados y sistema de impermeabilización



Fotografía 18: Vista parcial del área de relleno Norte I y Norte II.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Este relleno es uno de los componentes del “Complejo de Desarrollo Humano Ambiental Pichacay”, el mismo que se encuentra ubicado en la parroquia Santa Ana, a 21 km de la Ciudad de Cuenca. Cuyo objetivo es realizar una adecuada y segura disposición final de los residuos sólidos cumpliendo los requisitos aplicables al servicio, incluidos los requeridos con la comunidad.

Su operación se inició el 3 de septiembre del 2001, cumpliendo las estrictas normas previstas para este tipo de equipamientos sanitarios, razón por la cual, el 14 de diciembre de 2002, el Ministerio del Ambiente le otorgó la licencia ambiental.

Por sus características técnicas, ambientales, de seguridad y salud ocupacional mantiene un sistema integrado de gestión a base de las normas internacionales ISO 9001, ISO 14001, BSI OHSAS 18001.

### 4.3.1 Características Técnicas del Relleno

Cota de arranque del relleno	2619 msnm
Área total del equipamiento	123 hectáreas
Peso promedio de desechos sólidos depositados	400 toneladas/día
Vida útil	20 años
Peso específico de desechos compactados	0,9 toneladas/m <sup>3</sup>
Equipo utilizado	Tractor Komatsu D65 de 190 hp 2007, excavadora de orugas Caterpillar 320-C de 138 hp 2005, rodillo compactador Caterpillar 816F2 de 232 hp 2010, dos tanqueros de 3500 galones para transporte de lixiviados.
Sistema de impermeabilización mixta	Capa de arcilla de 20 cm de espesor compactada (mínimo 90 % de prueba proctor estándar) y geomembrana de polietileno de alta densidad de 1mm de espesor.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ductos de gases	Construidos con piedra y tubería perforada de polietileno de alta densidad de 150mm.
Drenes de lixiviados	Construidos con piedra, tubería perforada de 160mm y geotextil no tejido 0,25mm y permeabilidad de $45 \times 10^{-2}$ cm/s
Volumen promedio de generación de lixiviados	100 m <sup>3</sup> /día
Volumen de almacenamiento de lixiviados:	
Fase 1:	Cuatro tanques de ferrocemento y tres tanques de tormentas, capacidad total 2550 m <sup>3</sup>
Fase 2:	Dos tanques de tormentas, capacidad total 2426 m <sup>3</sup>
Sistema de operación del relleno	Mediante contrato con terceros
Fiscalización	Departamento Técnico de EMAC EP
Costo de operación	USD 6/ tonelada (no incluye costos de inversión)

### 4.3.2 Aspectos Sociales

- **Contraloría Social:** política de puertas abiertas para proporcionar la participación activa de la comunidad de Santa Ana y de toda la ciudadanía, en el control y supervisión de nuestras operaciones.
- **Rendición de cuentas:** EMAC EP presenta informes anuales sobre el desempeño del Relleno Sanitario a la Asamblea Parroquial de Santa Ana.
- **Desarrollo Humano:** el Relleno Sanitario constituye un importante factor de apoyo para el mejoramiento de la calidad de vida y para el desarrollo humano de los habitantes de Santa Ana, mediante la entrega del 5 % de sus ingresos a la Junta Parroquial.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- **Plan de Emergencias:** el Relleno Sanitario cuenta con un plan de emergencias y personal capacitado para afrontar las contingencias que pudieran presentarse.
- **Certificaciones Internacionales:** luego de las auditorías externas realizadas por parte de ICONTEC, el Relleno Sanitario de Pichacay mantiene Certificaciones Internacionales.

### 4.3.3 Reciclaje

Se recolecta 30 toneladas de materiales reciclables por semana. Las Asociaciones de Recicladores ARUC y AREV lo clasifican para su acondicionamiento y posterior comercialización con las industrias. Los ingresos que se generan son aprovechados por ellos. Ver Fotografía 19

Los beneficios para la EMAC son netamente ambientales, sociales y la prolongación de la vida útil del relleno sanitario.



Fotografía 19: Recicladoras de la asociación AREV

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 5

### RELLENO SANITARIO DE PICHACAY

#### 5.1 FASE DE SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO, CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO.

La selección del sitio de emplazamiento se efectuó considerando la “NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS EN EL ECUADOR” en su Libro VI Anexo 6, que fue detallada en el capítulo anterior. Específicamente en el punto 4.1.5 NORMAS GENERALES PARA LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS, EMPLEANDO LA TÉCNICA DE RELLENO MECANIZADO, en este punto se describe los requisitos mínimos que deben cumplir los sitios destinados para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección.

Para tener elementos de juicio e información para efectuar el diseño de un relleno sanitario, es necesario obtener información básica que permita desarrollar las acciones y tomar decisiones en cuanto a forma, equipos y elementos que se van a utilizar.

Algunos datos son fáciles de conseguir; otros, más difíciles, y en ocasiones es imposible adquirir información sobre uno o varios aspectos. Sin embargo, su manejo depende de la experiencia, capacidad de investigar y agilidad del diseñador. (6)

La siguiente información básica se deberá obtener para el diseño de un relleno sanitario de desechos sólidos:

- a) Población que atiende el Botadero de desechos sólidos.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- b) Datos generales sobre las características de la Población que se atiende con el Botadero de desechos sólidos.
- c) Cantidad de desechos sólidos producidos por la población atendida.
- d) Producción futura de desechos sólidos.
- e) Cantidad de desechos sólidos recolectados.
- f) Cobertura del servicio.
- g) Composición física de los desechos sólidos.
- h) Composición química de los desechos sólidos.
- i) Peso específico de los desechos sólidos.
- j) Producción de lixiviados y gases.
- k) Localización general del sitio, con relación a la población atendida.
- l) Geología de la zona.
- m) Topografía del área.
- n) Meteorología.
- o) Posibilidad de material de cobertura.
- p) Censo vehicular (viajes de desechos sólidos que entraran en el Botadero).
- q) Títulos de propiedad. (6)

Para el diseño de la Fase Emergente de la Etapa Norte II del Relleno Sanitario de Pichacay, se revisaron los **“Estudios y diseños para el Relleno Sanitario Norte II para el Cantón Cuenca”**, desarrollados por parte del Ing. Agustín Rengel Barrera, particularmente en lo referente al diseño geométrico del relleno sanitario, de tal manera de poder disponer un mayor volumen de desechos sólidos y prolongar de esta forma el período de vida útil de esta etapa. (8)

- El diseño incluyó la vía de acceso al sitio, los drenajes de lixiviados, ductos de gases, vida útil del proyecto y otros componentes básicos del relleno que posibilitaron su inmediata construcción. Para cada una de las fases se determinó la vida útil, el movimiento de tierras y la disponibilidad del material de cobertura requerido y disponible.
- Se realizó la topografía complementaria requerida y el replanteo de las obras diseñadas para la inmediata construcción de la fase emergente.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Se diseñó el suelo de soporte (drenajes, piedraplen, relleno de tierra u otra alternativa), para la primera terraza, la cual se encuentra en la margen derecha del río Quingeo y corresponde a un suelo con nivel freático superficial y baja capacidad soportante.
- Se diseñará los sistemas de drenajes para las aguas subterráneas
- Se revisó los diseños del sistema de almacenamiento y pretratamiento de lixiviados.
- Se rediseñó la vía de acceso para la Etapa Norte II del Relleno Sanitario de Pichacay.
- Se diseñó la mejor solución técnica para el paso de las quebradas existentes en el sitio destinado para la Etapa Norte II.
- Se determinaron las cantidades de obra, se realizaron los respectivos análisis de precios unitarios, presupuestos y cronogramas para la primera fase emergente y para la segunda fase del proyecto. (8)

### 5.1.1 Parámetros de diseño

#### 5.1.1.1 Población servida

Cuando se inició la etapa Norte II, la cobertura de servicio por parte de EMAC, comprende la ciudad de Cuenca, en un porcentaje del 92% y a veinte parroquias rurales del cantón, con la única excepción de la parroquia Chaucha, considerando que el porcentaje servido a la población rural es del 80%. (8)

Se procedió a realizar el análisis de los diferentes datos, llegando a la conclusión que debían utilizarse la proyección realizada por ETAPA, y conociendo la profundidad de este estudio se optó por estos valores. La proyección realizada por ETAPA se basa en la utilización del método denominado Tasa Exponencialmente Decreciente (TED) y cuyos resultados sirvieron de base para la determinación de otros parámetros de diseño de los componentes de la Segunda Fase de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento de la ciudad de Cuenca II Fase.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

POBLACIÓN DEL CANTÓN CUENCA			
AÑO	TOTAL	URBANA	RURAL
2001	417.632	278.995	138.637
2005	463.774	311.461	152.313
2010	525.602	354.839	170.763
2015	590.324	401.117	189.207
2020	657.842	450.166	207.676
2025	729.386	501.717	227.669
2030	804.781	55.406	249.375

Tabla 3: Proyección de la población del Cantón Cuenca. (8)

Para determinar la generación de desechos se consideraron los porcentajes de servicio mencionados del 92% y del 80%, en el ámbito urbano y rural respectivamente. Para el presente estudio, y dadas las condiciones del sitio destinado para esta fase de relleno, interesa la evolución de la población hasta el año 2011, fecha en la que se esperaba alcanzar la capacidad de la quebrada a utilizar para el relleno sanitario Norte II.

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

POBLACIÓN DEL CANTÓN CUENCA			
AÑO	TOTAL	URBAN A	RURAL
2007	487.82 2	328.444	159.37 8
2008	500.17 8	337.115	163.06 3
2009	512.77 1	345.914	166.85 7
2010	525.60 2	354.839	170.76 3
2011	538.17 4	363.888	174.28 6

Tabla 4: Proyección Poblacional considerada en el estudio. (8)

**5.1.1.2 Producción de desechos sólidos**

En cuanto a la generación de desechos sólidos tanto del sector doméstico como de la industria y de mercados, se presentan a continuación, una recopilación de datos generados por EMAC.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DESCRIPCIÓN	GENERACION DESECHOS SÓLIDOS
Generación per cápita	0.597 kg./hab./día
Generación de desechos industriales y hospitalarios	20.00 Ton./día
Generación de desechos de mercado	50.00 Ton./día

Tabla 5: Generación de desechos sólidos en Cuenca (8)

**5.1.1.3 Determinación de densidades de las distintas clases de desechos sólidos**

En cuanto a los valores de las diferentes densidades, se anotan a continuación las cifras promedio que se han observado en el Cantón Cuenca por parte de EMAC.

LUGAR	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Domicilio	232
Mercados	344
Camión	500
Relleno	750

Tabla 6: Valor de densidades de los desechos sólidos (8)



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**5.1.1.4 Composición de los desechos sólidos**

Para realizar los estudios del relleno sanitario Norte I, se consideró la composición de los desechos domésticos desarrollada por el Departamento Técnico de la EMAC y que consta en el cuadro siguiente:

COMPOSICIÓN	CANTIDAD (%)
Materia orgánica	62.94
Papel y cartón	8.83
Metales	1.22
Plásticos	3.99
Materia inerte	10.73
Papel higiénico	4.74
Otros	7.55
Total	100.00

Tabla 7: Composición de los desechos sólidos en Cuenca.(8)

**5.1.1.5 Volumen requerido en el Relleno Sanitario Norte II**

Es necesario diseñar un relleno sanitario con una capacidad de 2.563.719 m<sup>3</sup> para almacenar los desechos sólidos y 316.234 m<sup>3</sup> de material de cobertura

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

para el final del período de diseño que es el año 2021, lo que representa un total de 2.779953 m<sup>3</sup>. (8)

### **5.1.1.6 Información Hidrológica y Meteorológica**

Se recopilará toda la información relevante existente, dentro del área de influencia del proyecto, y que tiene que ver con los parámetros hidrológicos y meteorológicos requeridos dentro de este estudio.

#### **5.1.1.6.1 Hidrología**

En cuanto a los factores hidrológicos, tanto del río Quingeo como de la Quebrada S/N tributaria y sitios de interés del proyecto, no se dispone de estaciones. Por otro lado, existe información muy incompleta del río Jadán del cual el río Quingeo es tributario.

Cabe anotar que los parámetros que se requieren determinar son: caudales máximos, caudales mínimos y niveles de inundación.

Los valores obtenidos son los siguientes:

- Caudal máximo en la Quebrada S/N según el Método Racional Americano es de 2.6 m<sup>3</sup>/s en un período de retorno de 100 años. Como la Quebrada S/N es epidemial se estima que el caudal mínimo es cero.
- Caudal máximo del Río Jadán para un período de retorno de 50 años utilizando el programa Hidro 1 es de 124.4 m<sup>3</sup>/s. (8)

#### **5.1.1.6.2 Meteorología**

La zona de implantación del Relleno de Pichacay, II Etapa (zona norte), contaba en el año 2001 únicamente con una estación pluviográfica, aunque con registros muy cortos, de menos de un año, lo que impide evaluar el comportamiento de este factor meteorológico dentro de este estudio. Por otro lado, las características climatológicas de la zona tienen similitudes con la estación meteorológica de Ucubamba, así como la estación Cuenca Aeropuerto

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

y la estación pluviométrica de Cochabamba. Esto posibilita analizar la meteorología de la zona empleando correlaciones con los valores climatológicos de estas estaciones. La información considerada corresponde a la disponible en el INAMHI y en la EMAC. (8)

A continuación se resumen la información analizada:

- Informe Hidrometeorológico del Relleno Sanitario para la Ciudad de Cuenca, realizado por el Ing. R. Estrella A., R. Tobar y otros, Diseños Definitivos de la Estación de Tratamiento y Disposición Final para los Desechos Sólidos de la ciudad de Cuenca Estudios, agosto de 2001.
- INAMHI (Instituto Nacional Meteorológica e Hidrología)
- INECEL (Instituto Nacional de Electrificación), proyecto UMACPA (Manejo de la Cuenca del río Paute), 1990.
- Intensidades de Lluvia para Zonas sin datos, L. Rodríguez, 1992, INAMHI.

En general, el clima en la zona se caracteriza por ser del tipo templado – seco, como muchas de las áreas andinas ubicadas en altitudes entre los 2.600 a los 2.750 msnm. (8)

Los parámetros meteorológicos considerados, de acuerdo a las características consignadas en los registros disponibles son:

- a) **Temperatura (EC):** se han considerado valores mensuales medios. La zona del relleno tiene una media de 14 °C, con extremos máximos y mínimos de 15.7 °C y 11.6 °C en los mismos meses.
- b) **Humedad Relativa (%):** se ha considerado valores medios mensuales. Según el estudio realizado por Estrella-Tobar se tiene una humedad media de 89%.
- c) **Nubosidad (octanos):** se han considerado valores medios mensuales.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- d) **Heliofanía (%):** se han considerado valores medios mensuales.
- e) **Vientos (frecuencia):** caracterizado por la frecuencia de la dirección. Se consideró los registros de la estación de Ucubamba, en donde las direcciones predominantes, mayores al 5% son: para el NE 28%, para el N 8%, para el NW 7% y para el SW 16%, para las direcciones E, SE, S, W los porcentajes son menores al 5%.
- f) **Precipitación (mm):** se han considerado valores medios mensuales. Se consideró la precipitación media anual en Cochabamba que fue de 832.2 mm.
- g) **Evaporación (mm):** de importancia relativa para el diseño, se han considerado solo valores mensuales. El valor medio anual de la evaporación para la zona del relleno es de 673.9 mm, el valor más alto es de 59.5 mm para los meses de enero y diciembre, el más bajo es de 49 mm para Julio, con el Método de Thornthwaite.

Con respecto a la topografía de la zona y en especial de la microcuenca de la quebrada S/N, es abrupta y erosionada en la parte alta, en la parte baja la topografía se torna más plana. Existiendo poca diferencia entre el nivel del fondo de los cauces de la quebrada S/N y del río Quingeo, con sus márgenes, en donde se implementará el proyecto (margen derecho del río Quingeo y margen izquierdo de la quebrada S/N). (8)

### **5.1.1.7 Estudio Geotécnico Definitivo**

Por la importancia del presente proyecto, se ha conceptualizado como un requerimiento fundamental la evaluación de las amenazas naturales de origen geológico y geotécnico, es decir considerar la variable “riesgos naturales”, en la planificación del mismo, por lo cual se ha desarrollado un estudio específico por parte del Ing. Guillermo Vélez N.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Desde el punto de vista de la mecánica de suelos, han sido analizadas las características que presentan los suelos superficiales, muy particularmente enfocando aspectos relacionados con: presencia de nivel freático, permeabilidad, evaluaciones de la consistencia de los estratos finos predominantes en el sector estudiado, al considerar que estos parámetros son de fundamental importancia, para el diseño del proyecto a realizarse. (8)

El presente estudio fue realizado basándose en la siguiente metodología:

- Revisión y análisis de la información técnica y cartográfica existente: Informe final de PRECUPA, Hoja Geológica de Gualaceo (1974). Estudios geotécnicos realizados por el Ing. Vélez dentro del sector en el cual se localiza la zona de estudio.
- Reconocimientos de campo.
- Excavaciones superficiales de pozos a cielo abierto. (8)

Siguiendo la metodología expuesta ha sido posible obtener datos que permiten caracterizar a la zona estudiada, desde los puntos de vista: morfológico, estratigráfico, litológico y estructural.

La zona puntual del presente estudio se presenta como un valle de génesis aluvial, que se extiende a partir de las márgenes del río Quingeo como una llanura, elevada la misma a pocos metros con relación a su cauce. Su morfología corresponde a una zona con una pendiente levemente inclinada, la misma que se incrementa en la dirección SW a NE. Esta ha sido modelada por eventos fluviales (8)

Los posibles riesgos de inestabilidad por movimiento de masas de tierra estarán asociados fundamentalmente con: pluviosidad extrema, inundaciones y sismos.

De la observación de los perfiles estratigráficos se aprecia el predominio de suelos finos, los que se clasifican como: limos arenosos (MH), arcillas arenosas (CL y CH), limos arcillo arenosos (ML-CL), y arcillas limo arenosas (CL-ML), de plasticidades bajas a medias, preconsolidadas por efectos de desecación. Su

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

consistencia varía de medianamente blanda (en zonas con presencia de nivel freático muy superficial) a muy compacta ( $q_u \sim 7,5 \text{ TN/m}^2$  a  $q_u \sim 25 \text{ TN/m}^2$ ). (8)

El espejo de agua ha sido ubicado en todas las excavaciones realizadas y éste se localiza dentro de un rango de 0,30 m a 1,90 m de profundidad con respecto a la superficie del terreno. A fin de abatir el nivel freático, el mismo que en el sector NW, se localiza a una profundidad de 0,30m con relación a la superficie del terreno, es necesario la construcción de un sistema de subdrenaje.

### **5.1.1.8 Ubicación del proyecto**

La zona estudiada se halla ubicada al Sureste de la ciudad de Cuenca, cuyas coordenadas UTM son: 9672114N – 17073041E, altitud aproximada 2.620 msnm.

## **5.2 FASE DE CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO**

Esta fase comienza con el movimiento de tierras para las vías de acceso y adecuación del suelo de cimentación. La tierra resultado de la excavación es utilizada para cubrir las celdas diarias.

En relleno Norte I, se excavó una zanja de aproximadamente 20 metros de profundidad, con taludes inclinados para desde ahí comenzar a depositar la basura. En el relleno Norte II, el nivel freático se encontraba a 30cm de la superficie, por esta circunstancia se tuvo que construir un drenaje para las aguas subterráneas, cuya dirección es perpendicular al cauce del río. Sobre esto se colocó material de mejoramiento debidamente compactado para disminuir el riesgo de contaminación del agua subterránea e incrementar la capacidad portante de suelo de base. Ver Fotografía 20.

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía20: Movimiento de tierras.

La impermeabilización del suelo de cimentación es un aspecto muy importante para el buen funcionamiento del relleno. Primero fue colocada una capa de arcilla de 20 centímetros de espesor debidamente compactada y luego una geomembrana de 10mm de espesor. Ver Fotografía 21.



Fotografía 21: Drenaje para recolectar lixiviados.

Para la recolección de lixiviados se construyó un sistema de drenaje en forma de espinas de pescado y con una inclinación mínima de 3%, de esta forma los líquidos que son producto de la descomposición de la materia orgánica,

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

descienden por acción de la gravedad hasta ser interceptados por dichos drenes. Estos, están formados por material granular, rodeado de un geotextil para impedir que las partículas finas sean transportadas. Ver fotografía 22.



Fotografía 22: Impermeabilización del suelo de soporte

### 5.3 FASE DE OPERACIÓN Y MONITOREO DEL RELLENO

Al concluir el sellado y la impermeabilización del suelo de soporte, se comienza a depositar la basura para tenderla y compactarla. Hay que tener cuidado al colocar la primera capa de residuos, ya que ciertos objetos podrían romper la geomembrana, provocando que los lixiviados contaminen el suelo y las aguas tanto subterráneas como superficiales. Un problema de este tipo haría que fracasase el proyecto, provocando impactos ambientales negativos de gran magnitud. Para evitar este problema, sobre la geomembrana se colocaron llantas, con lo cual se disminuye el riesgo que esta se rompa.

La celda diaria es el espacio donde se coloca la basura del día. Tiene un frente, una altura, y un fondo; esta celda tiene un frente con una inclinación aproximada de 30°. Después de que el carro de basura deja su carga, un bulldózer (o varios, según el tamaño del relleno sanitario) riega la basura sobre

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

el frente de la celda diaria en capas de 30 centímetros, la compacta las veces que sea necesario para alcanzar un peso específico mínimo de 0.7 t/m<sup>3</sup> y al final del día la tapa. (6)

La basura que se recolecta durante un día, se coloca, compacta y cubre con material que fue removido del mismo sitio (celda diaria). El espesor de la capa de cobertura es de aproximadamente 30 cm, con lo cual se garantiza que animales no estén en contacto con la basura y el biogás pueda ser quemado al salir por las chimeneas. Para colocar residuos sobre dicha celda, se remueve el material de cobertura y repite el proceso anterior.

La masa de basura compactada está formada por taludes y bermas. Para que los taludes sean estables se requieren que tengan 45° de inclinación y 5 m. de altura, pero debido a los grandes asentamientos que sufre la masa de basura producto de la descomposición de la materia orgánica, se construyen taludes con una altura de 6.5 m. y una inclinación de 60°. En los primeros años se producen los asentamientos más significativos y estos taludes adquieren aproximadamente las características requeridas. Ver Fotografía 23.

La escorrentía producida por las aguas lluvias son un problema al inicio de la cobertura del relleno, esto produce inestabilidad en los taludes del relleno. Estos inconvenientes van disminuyendo cuando los taludes se cubren con vegetación. Ver Fotografía 24

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía 23: Talud del relleno.



Fotografía 24: Erosión del talud por la escorrentía

### 5.3.1 Equipo Compactador

La Alcaldía de Cuenca y su empresa EMAC EP, con el objetivo de mejorar las operaciones del relleno sanitario de Pichacay ponen en funcionamiento un equipo compactador de desechos sólidos, el costo del equipo asciende a la suma de \$1'704.025,77 USD.

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

La nueva maquinaria es de procedencia americana y tiene un funcionamiento a diesel, permite realizar el tendido de los desechos sólidos, una vez que los mismos son descargados en el frente de trabajo. El compactador de rellenos sanitarios realiza el tendido de la basura en capas que no superen los 60 centímetros de altura, garantizando que la compactación de la misma sea adecuada.

Después de tender los desechos, esta maquinaria apisona cada una de las capas mínimo diez veces, cinco en sentido longitudinal y cinco en sentido transversal. Con esta actividad se espera incrementar el peso específico de los desechos de 0.75 Ton/m<sup>3</sup> a 0.90 Ton/m<sup>3</sup>, lo que permitirá ampliar la vida útil del Relleno Sanitario de Pichacay. (Ver Fotografía 25)



Fotografía 25: Rodillo trabajando en el relleno Norte II

Al Relleno Sanitario de Pichacay llegan aproximadamente 400 toneladas diarias de desechos sólidos (Ver Figura 8), que son procesados técnicamente hasta lograr sedimentación y compactación, con esta maquinaria se facilita el trabajo y se amplía la vida útil del relleno.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Figura 8: Curva Tiempo vs Peso de los residuos sólidos durante el año 2009.

El equipo técnico del consorcio Tapia y Asociados y de la EMAC que trabaja en el relleno sanitario de Pichacay recibieron la capacitación suficiente para operar adecuadamente este equipo y alcanzar mayores densidades de los desechos sólidos en el relleno sanitario y mejorar también su estabilidad.

En el Ecuador únicamente las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, cuentan con este equipo para el manejo de los desechos sólidos, circunstancia que hace que Cuenca se mantenga como líder en este ámbito del saneamiento ambiental.

### 5.3.2 Densidad del Relleno Sanitario

La densidad que se alcanza actualmente es aproximadamente 0.9 ton/m<sup>3</sup>. Y las mediciones se realizan utilizando dos métodos que son:

- Se pesa el material que ingresa al relleno, se compacta normalmente y después de un cierto tiempo se calcula el volumen que ha ocupado dicho material. Con estos datos se aplica la siguiente fórmula:

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [5.3.2.1]$$

Donde:

m = masa de los residuos sólidos.

V = volumen que ocupa el material.

- Se hace un hueco de 0.5x0.5x0.5 m. El material que sale se pesa y se aplica la ecuación [5.3.2.1].

### 5.3.3 Monitoreo Ambiental

Para verificar el adecuado funcionamiento del relleno sanitario, se tienen puntos estratégicamente determinados para tomar muestras de agua y realizar los respectivos análisis. Se debe descartar que el río esté siendo contaminado, para esto se monitorea la quebrada de Capelo, ya que podría estar afectando la calidad del agua del río. Ver Fotografía 26

El **Punto 1**, ubicado antes del relleno, da las características iniciales del río y el **Punto 3** ubicado aguas abajo del relleno, nos daría los parámetros de control, para ver si existe o no contaminación debido al proyecto. Los parámetros de control tienen que cumplir las normas citadas en el capítulo 2.

En forma permanente se realiza el monitoreo ambiental de:

- Calidad de agua superficial (cinco puntos en el río Quingeo y un punto en la quebrada Capelo). Ver Anexo 2
- Calidad de agua subterránea (cuatro puntos de monitoreo). Ver Anexo 3
- Ruido Ambiental (frente de trabajo, viviendas más cercanas al Relleno y un la comunidad El Chorro y Playa de los Ángeles).
- Emisiones Gaseosas (biogás y aire ambiente).

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía 26: Puntos de control de la calidad del agua

### 5.3.4 Instrumentación

- El Relleno Sanitario cuenta con una estación meteorológica para registrar permanentemente las condiciones climáticas del sector.
- Para monitorear la estabilidad de las terrazas conformadas con los desechos sólidos dispuestos, se cuenta con una red de piezómetros e inclinómetros que permiten determinar las presiones internas en la masa de basuras y su posible desplazamiento en el tiempo.

### 5.5 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS Y GASES EN PICHACAY

Los lixiviados son el producto de la descomposición bioquímica de la basura y del agua de infiltración, y tienden a salir, por gravedad, por la parte inferior del relleno sanitario, hasta que una capa impermeable lo impida.

La calidad de los lixiviados depende de tipo de residuos que se está tratando y varía gradualmente con el tiempo. La composición de basura de los países

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

desarrollados consta de una mayor cantidad de plásticos, papeles, cartones, etc., y los países en desarrollo tienen una alta cantidad de materia biodegradable, con lo cual se tienen mayores concentración de DBO, metano, metales y sustancias precipitables. Ver Tabla 7

La basura que ha sido recientemente rellena produce lixiviados altamente contaminantes y disminuye gradualmente con el tiempo, aunque en algunos casos los metales que presentan reacciones de óxido-reducción, puede concluir que la concentración al inicio del proceso de lixiviados, no sea la mayor.

Al no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón y para evitar que esto ocurra, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados se deben tratar aplicando una tecnología adecuada.

En el Relleno Sanitario de Pichacay, los drenes tipo espigas de pescado recolectan los lixiviados y por una tubería son transportados hasta una laguna que ha sido diseñada especialmente para ésta función. La laguna para el almacenamiento de los lixiviados fue diseñada inicialmente en hormigón armado pero tenían un costo muy alto, por lo cual se buscó una nueva alternativa. La alternativa que se escogió fue: Hacer una excavación en el suelo con taludes inclinados de tal manera que sean estables, poner una capa de arcilla debidamente compactado para impermeabilizar el suelo y por último se puso una geomembrana para garantizar que el reservorio quede completamente impermeable. Ver Fotografía 27

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Fotografía 27: Impermeabilización del tanque para los lixiviados.

Los lixiviados son transportados en tanqueros equipados con esta finalidad y se depositan en tanques, de los cuales se elimina en el sistema de alcantarilla con un caudal bajo, para que se mezclen con las aguas residuales, disminuyendo de esta manera las concentraciones de carga contaminante y pueden ser tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales. Ver fotografía 28



Fotografía 28: Almacenamiento de los lixiviados.

### 5.5.1 Caracterización de los Lixiviados

Periódicamente se han venido realizando por parte del Departamento Técnico de la EMAC, la toma de muestras de lixiviados y su respectivo análisis físico, químico y bacteriológico en los laboratorios de la dirección de Gestión Ambiental de ETAPA. Los aspectos más preponderantes se indican a continuación:

#### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Los valores promedios de sólidos totales alcanzan a 14.601,50 mg/l, y los sólidos suspendidos llegan a 975,50 mg/l, valores superiores a los límites establecidos para descargar en un alcantarillado público e iguales a 1.600 y 220 mg/l para los sólidos totales y suspendidos respectivamente.
- El valor promedio de los sólidos decantables es de 3.58 mg/l, valor inferior al máximo permitido en la normativa nacional e igual a 20 mg/l.
- El pH es ligeramente básico con un valor promedio de 7,8, sin embargo se encuentra dentro del rango recomendado por la normativa entre 5 y 9.
- La Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 es de 9539,38 mg/l y la Demanda Química de Oxígeno DQO es 13.097,11 mg/l, valores totalmente superiores a lo establecido en la normativa e igual a 250, 500 para DBO% y DQO respectivamente.
- En lo referente a metales pesados el Cromo registra 186,11 ug/l, Plomo 240,90 ug/l, Cadmio 29,70 ug/l, Manganeso 134,47 ug/l y Niquel 436,10 ug/l. Las concentraciones de Hierro es de 55,03 mg/l, Aluminio 2.172,67 mg/l, zinc 453,32 mg/l y bario 484,60 mg/l, valores en su mayoría sobre la norma nacional. (8)

### 5.5.2 Biogás

El biogás sale a la superficie por unos tubos, que funcionan como chimeneas. La incineración evita descargar a la atmosfera el metano (CH<sub>4</sub>). El biogás quemado permite emitir a la atmósfera CO<sub>2</sub> y vapor de agua H<sub>2</sub>O, contribuyendo a reducir el Efecto Invernadero Global. Ver Fotografía 28.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Si por alguna razón los ductos por donde sale el biogás al exterior se taponan, las presiones en el interior de la masa del relleno aumentan, con lo cual surgen problemas de estabilidad de taludes.



Fotografía 28: Ducto para la salida del biogás. Fotografía 29: Caseta de incineración del biogás

### 5.6 USOS FUTUROS DEL RELLENO DE PICHACAY

Teniendo en cuenta la necesidad de determinar áreas de reserva tales como parques recreacionales destinados a las actividades de esparcimiento, descanso y práctica de deportes, paisajísticos, los terrenos de los rellenos sanitarios pueden ser acondicionados sembrando vegetación herbácea y especies propias de la región, y repartiendo los espacios de acuerdo con la microtopografía y con las condiciones del suelo, entrando así a complementar en forma excepcional un sistema de zonas verdes.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Los terrenos en donde se encuentre ubicado un relleno sanitario no podrán utilizarse para uso de vivienda, para escuelas o para la construcción de cualquier otra edificación. (6)

En el futuro se planifica sembrar un bosque en el área del relleno Norte I, para esto se están estudiando las mejores opciones de variedades de árboles, en cuanto a sus características de adaptabilidad y que armonice con el ambiente. A cargo de esta labor está un ingeniero forestal, quien ha ido probando varias especies y ha determinado que entre las especies más resistentes está el eucalipto.

Se debe esperar que se estabilice el relleno, que salga todo el gas que se sigue generando y los lixiviados porque éstos matan a las plantas. Hasta el mismo quicuyo que se encuentra sembrado, necesitó un tratamiento de mejoramiento del suelo. (Ver Fotografía 31)



Fotografía 30: Relleno Norte I, cerrado.

### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

Con la presente investigación es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- En el relleno sanitario de Pichacay, la escorrentía de las aguas lluvia es un problema, porque retira el material fino de la capa de cobertura produciendo cárcavas y aumenta el gasto de infiltración, con lo cual se ven afectados los taludes.
- La utilización de un relleno sanitario para tratar los residuos sólidos es una tecnología apropiada para nuestro medio, debido a que requiere una inversión inicial menor, menos costos de operación y mantenimiento y genera empleo de mano de obra poco calificada, en comparación con otros métodos de tratamiento.
- El relleno no debe ubicarse en zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, causes de quebradas, zonas propensas a deslaves, etc., porque cualquier movimiento del suelo de soporte provocaría movimientos de la masa de basura pudiendo llevar a un posible fracaso.
- Un buen sistema de drenaje, con pendientes adecuadas que permitan una correcta evacuación de los lixiviados. Debido a que si estos líquidos no circulan correctamente, aumentan las presiones intersticiales dentro de la masa del relleno, pudiendo provocar inestabilidad de los taludes.
- Uno de los factores más importantes que influye en la estabilidad de taludes es la compactación que se dé a la basura. Con una buena

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

compactación obtenemos masas densas que aumenta el esfuerzo cortante del material de relleno.

- El uso futuro que se puede dar a un relleno sanitario puede ser de áreas de reserva como parques recreacionales destinados a actividades de esparcimiento, descanso y práctica deportiva, se pueden acondicionar con vegetación, todo esto dependiendo de la topografía y las condiciones del suelo.

### 6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe determinar detalladamente la geometría del relleno de tal manera que permita verificar si la inclinación de los taludes proporciona una seguridad adecuada.
- El monitoreo del relleno sanitario debe estar a cargo de personal lo suficientemente capacitado para resolver cualquier imprevisto o accidente que ocurra durante la operación.
- Se debe construir canaletas para la recolección de aguas lluvias, al pie de cada talud, esto favorece a la estabilidad de los mismos pues evita la erosión y la exposición de la basura.
- Se debe determinar la estabilidad de taludes mediante métodos de equilibrio límite como el de Bishop modificado. Se debe seleccionar los parámetros resistentes a emplear en el análisis a través de experiencias internacionales.

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



### 6.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (American Society of Civil Engineers, Asce)
- (2) Ministerio de Salud, Departamento Educación para la Salud, San José, Costa Rica, 1997
- (3) [http://Vertedero \(basura\) - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht](http://Vertedero (basura) - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht)
- (4) <http://www.dforceblog.com/Rellenos Sanitarios.mht>
- (5) <http://www.dforceblog.com/2009/05/27/elementos-del-relleno-sanitario/>
- (6) Héctor Collazos Peñaloza, “Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios”, Tercera Edición, 2008.
- (7) Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No Peligrosos, Libro VI, Anexo 6.
- (8) Memoria Técnica de los “Estudios y diseños de la fase emergente de la Etapa Norte II del Relleno Sanitario de Pichacay”, 2008.
- (9) Juan H. Palma González, Pamela Valenzuela T, Raúl Espinace Abarzúa, “Análisis de estabilidad de Rellenos Sanitarios”, Noviembre 2006.
- (10) Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos, Eugenio Giraldo, 1997.
- (11) Experiencias de aplicación de modelos para la determinación de los asentamientos de Rellenos Sanitarios, R. Espinace y J. H. Palma G. 1999
- (12) La Geotecnia Ambiental aplicada a los Vertederos Sanitarios, Dr. Raúl Espinace Abarzúa, 2000.

### 6.4 BIBLIOGRAFÍA

- [http://Vertedero \(basura\) - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht](http://Vertedero (basura) - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht)
- <http://www.dforceblog.com/Rellenos Sanitarios.mht>

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- <http://www.dforceblog.com/2009/05/27/elementos-del-relleno-sanitario/>
- Héctor Collazos Peñaloza, “Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios”, Tercera Edición, 2008.
- Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No Peligrosos, Libro VI, Anexo 6.
- Memoria Técnica de los “Estudios y diseños de la fase emergente de la Etapa Norte II del Relleno Sanitario de Pichacay”, 2008.
- Juan H. Palma González, Pamela Valenzuela T, Raúl Espinace Abarzúa, “Análisis de estabilidad de Rellenos Sanitarios”, Noviembre 2006.
- Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos, Eugenio Giraldo, 1997.
- Experiencias de aplicación de modelos para la determinación de los asentamientos de Rellenos Sanitarios, R. Espinace y J. H. Palma G. 1999
- La Geotecnia Ambiental aplicada a los Vertederos Sanitarios, Dr. RaulEspinaceAbarzua, 2000.

### **AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### Anexo 1: Características de los lixiviados.

Parámetros	UNIDAD	2008			
		12/marzo/2008	11/junio/2008	10/sep/2008	22/oct/2008
pH		8,10	7,47	8,01	8,38
DBO <sub>5</sub>	mg/l	6.000,00	14.250,00	4.600,00	1.625,00
DQO	mg/l	9.805,00	18.390,00	7.466,00	4.510,00
Cobre	ug/l	36,80	64,40	43,90	45,20
Cromo	ug/l	134,20	300,00	223,40	177,16
Hierro	mg/l	15,01	68,12	19,69	9,07
Plomo	ug/l	101,00	217,40	178,80	120,74
Cadmio	ug/l	16,60	25,40	20,80	13,50
Manganeso	mg/l	1,48	11,17	1,90	0,63
Niquel	ug/l	301,80	507,40	359,20	342,40
Zinc	mg/l	0,95	2,58	1,68	1,10
Coliformes totales	NMP/100ml	1,70E+07	3,50E+05	2,20E+04	> 1,6E+06
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	5,40E+06	2,40E+05	4,00E+03	1,70E+03
<b>RELACION DBO<sub>5</sub> / DQO</b>		<b>0,61</b>	<b>0,77</b>	<b>0,62</b>	<b>0,36</b>

#### AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA

LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 2: Características de las aguas superficiales.

		PUNTO 1	PUNTO 2	G. CAPELO	PUNTO 6	PUNTO 3	PUNTO 4
		2008	2008	2008	2008	2008	2008
Parámetros	UNIDAD	12-mar	12-mar	12-mar	12-mar	12-mar	12-mar
DBO5	mg/l	0,40	0,40	0,3	1,30	0,50	0,40
Cromo	ug/l	< 3	< 3	< 3	19,80	< 3	< 3
Plomo	ug/l	< 10	17,30	18,30	32,90	< 10	18,40
Cadmio	ug/l	2,20	2,50	2,40	5,90	1,40	2,20
Manganeso	ug/l	118,60	129,80	11,80	1.071,00	119,80	120,00
Coliformes totales	NMP/100ml	1,40E+03	7,90E+03	2,40E+02	3,50E+03	3,50E+03	4,90E+03
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	7,90E+02	1,10E+03	2,40E+02	1,70E+03	1,30E+03	1,30E+03

		PUNTO 1	PUNTO 2	G. CAPELO	PUNTO 6	PUNTO 3	PUNTO 4
		2008	2008	2008	2008	2008	2008
Parámetros	UNIDAD	11-jun	11-jun	11-jun	11-jun	11-jun	11-jun
DBO5	mg/l	0,60	0,70	0,2	0,60	0,90	0,50
Cromo	ug/l	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Plomo	ug/l	19,10	10,20	25,40	18,50	10,40	25,60
Cadmio	ug/l	4,40	2,30	4,50	9,40	2,70	2,80
Manganeso	ug/l	84,90	103,00	12,94	93,10	96,90	101,70
Coliformes totales	NMP/100ml	1,30E+04	5,40E+03	5,40E+02	9,40E+03	2,60E+03	3,50E+03
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1,70E+03	7,00E+02	3,50E+02	3,50E+03	7,90E+02	2,40E+03

		PUNTO 1	PUNTO 2	G. CAPELO	PUNTO 6	PUNTO 3	PUNTO 4
		2008	2008	2008	2008	2008	2008
Parámetros	UNIDAD	10-sep	10-sep	10-sep	10-sep	10-sep	10-sep
DBO5	mg/l	0,60	0,70	0,4	0,80	0,70	3,40
Cromo	ug/l	11,48	3,80	< 3	5,30	< 3	3,40
Plomo	ug/l	31,59	65,10	30,66	27,00	19,58	7,78
Cadmio	ug/l	6,45	3,94	5,10	3,10	1,96	3,20
Manganeso	ug/l	26,87	40,39	23,40	28,70	76,04	21,08
Coliformes totales	NMP/100ml	4,90E+03	1,30E+03	3,30E+02	1,70E+03	2,40E+03	5,40E+04
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	4,60E+02	4,90E+02	4,50E+01	1,30E+03	1,30E+03	5,40E+02

		PUNTO 1	PUNTO 2	G. CAPELO	PUNTO 6	PUNTO 3	PUNTO 4
		2008	2008	2008	2008	2008	2008
Parámetros	UNIDAD	22-oct	22-oct	22-oct	22-oct	22-oct	22-oct
DBO5	mg/l	4,20	4,20	0,5	4,03	4,10	4,50
Cromo	ug/l	5,88	4,76	< 3	6,36	5,77	3,44
Plomo	ug/l	21,41	19,93	27,43	15,55	35,33	23,06
Cadmio	ug/l	1,73	2,18	3,16	1,25	3,46	2,52
Manganeso	ug/l	106,40	129,70	21,52	114,10	107,10	82,00
Coliformes totales	NMP/100ml	2,40E+04	1,70E+04	2,40E+02	3,50E+04	3,50E+04	> 1,60E+05
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	4,60E+03	7,90E+03	3,30E+01	4,90E+03	7,00E+03	4,90E+03

AUTORES:

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
 LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Anexo 3: Características de las aguas subterráneas (Pozo N° 1)

		2008			
Parámetros físicos	UNIDAD	12/marzo	11/junio	10/septiembre	22/octubre
Sólidos totales	mg/l		1.019,00		910,00
Sólidos suspendidos	mg/l		4,00		-
Conductividad	umho/cm	1967 uS/cm	1536 uS/cm	1508 us/cm	1405 us/cm
Turbiedad	NTU				
Parámetros químicos	UNIDAD	12/marzo	11/junio	10/septiembre	22/octubre
pH		7,34	7,58	7,39	7,54
Calcio	mg/l	174,76	136,08	129,89	128,64
Magnesio	mg/l	58,98	65,98	51,13	46,40
DBO5	mg/l	0,90	0,30	0,40	0,50
DQO	mg/l	31,00	34,00	18,00	18,00
Cobre	ug/l	14,80	14,40	8,34	10,76
Cromo	ug/l	3,00	4,70	3,62	5,72
Hierro	ug/l	53,50	380,10	129,60	181,00
Plomo	ug/l	15,00	43,30	47,39	35,90
Cadmio	ug/l	4,30	5,80	5,23	3,83
Manganeso	ug/l	514,80		69,08	
Niquel	ug/l	21,80		22,18	
Zinc	ug/l	12,70	34,00	35,34	86,73
Parámetros bacteriológicos	UNIDAD	12/marzo	11/junio	10/septiembre	22/octubre
Coliformes totales	NMP/100ml	5,40E+02	4,50E+00	1,30E+01	4,90E+01
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	79	< 1,8	< 1,8	< 1,8

**AUTORES:**

MARÍA DANIELA INGA AGUAYZA  
 LUIS FERNANDO ROMERO PACHECO