

# Guía Básica para el Manejo Ambiental de Rellenos Sanitarios



## Contenido

1.	Introducción	4
2.	Lineamientos para el Desarrollo de un Relleno Sanitario	5
3.	Relleno Sanitario	8
4.	Preinversión, Selección del Sitio y Evaluación Ambiental	12
5.	Inversión: Diseño de Rellenos Sanitarios	21
6.	Construcción y Operación del Relleno	25
7.	Clausura del Relleno	36

*(Esta Guía es parte del proyecto Paz con la Naturaleza con alcances dirigidos hacia los conceptos PML (Producción Más Limpia) y una primera aproximación del país al concepto 0-E (Cero Emisiones); complementado con aportes de factores y efectos minimizadores con influencia dentro de los fenómenos relacionados con los cambios climáticos y el calentamiento global).*

## **Producción Más Limpia (PML)**

*El concepto de PML fue introducido por la Oficina de Industria y Medio Ambiente del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, en 1989: “La Producción Más Limpia se define como una estrategia ambiental preventiva, integrada aplicada a los procesos, productos y servicios, para incrementar la eficiencia global y reducir los riesgos a los humanos y el medio ambiente”. Consecuentemente se involucra positivamente ante los eventos relacionados con el Cambio Climático.*

*Es por estas razones que la PML se convierte en una necesidad ya que es una herramienta útil para ayudar a mejorar el desempeño ambiental, reduciendo los impactos ambientales ; generando mayores beneficios económicos; mejorando las relaciones entre los empresarios, desarrolladores e instituciones de regulación y control ambiental, implementando una mejor imagen dentro de la percepción social y los mercados consumidores nacionales y extranjeros.*

*La principal diferencia entre la PML y el control tradicional de la contaminación, se relaciona con el control como una estrategia “post evento”, mientras la Producción Más Limpia, integra e implementa una filosofía de “anticipar y prevenir”. Sin embargo, los dos son importantes - es difícil prevenir toda contaminación con PML.*

*Es importante establecer que la PML es casi un cambio de actitud así como un cambio y mejoramiento básico de tecnología. En muchos casos, los beneficios más significantes de la PML pueden ser ganados a través de un pensamiento lateral, sin adoptar soluciones tecnológicas. Es crucial un cambio de actitud en la parte administrativa, gerentes y empleados para mejorar la eficiencia, adoptar mejores técnicas de administración, mejorar las prácticas de mantenimiento, refinar los procedimientos y la política ambiental del ente o empresarios propietarios y administrador de la unidad de producción.*

# Guía para Relleno Sanitario.

## **1) Introduccion**

El continuo aumento de la población y el cambio en las costumbres alimenticias y de consumo en las últimas décadas ha producido un considerable aumento de residuos sólidos urbanos, siendo su composición cada vez más heterogénea. La disposición de estos residuos se ha convertido en una emergencia no sólo a nivel nacional sino también mundial, debido a la insuficiente coordinación en la gestión y manejo de los recursos naturales.

La guía ambiental para rellenos sanitarios tiene como objetivo principal suministrar información técnica y ambiental de manera que la selección de sitios, el tipo de relleno sanitario, diseño de construcción operación y clausura de rellenos se maneje de forma adecuada, con el fin de evitar el deterioro de los recursos naturales, el medio ambiente y la salud de la población.

### **1.1. Gestión de rellenos sanitarios**

El relleno sanitario se define como las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos no reciclables ni aprovechables, diseñada para minimizar el impacto ambiental potencial generado por los desechos.

Una adecuada gestión de un relleno sanitario implica el desarrollo exitoso de las etapas de planificación, diseño, operación, clausura, adecuación y uso final. Parte de este desarrollo es considerar los siguientes elementos:

- Selección del sitio de disposición
- Trazado y diseño operativo del relleno
- Operación y control ambiental del relleno
- Control de lixiviados
- Control de gases
- Análisis y control de estabilidad
- Monitoreo ambiental durante la operación
- Clausura del relleno
- Monitoreo ambiental durante clausura y post-clausura

## 1.2. Criterios de calidad ambiental

Los principales criterios de calidad ambiental relacionados con la disposición de residuos y que ameritan un seguimiento detallado son los siguientes:

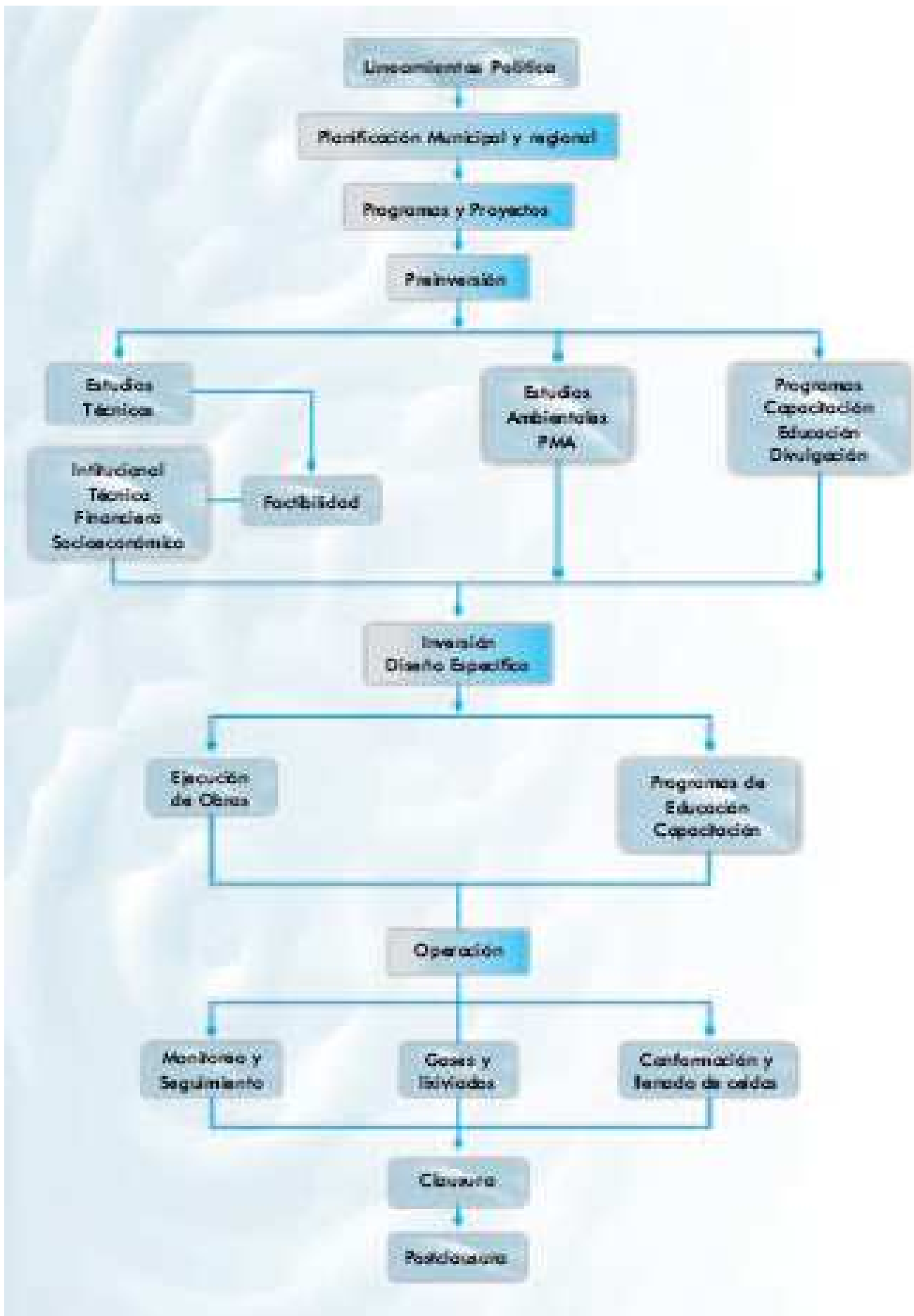
- Escape incontrolado de gases que puedan emigrar fuera del sitio del relleno, produciendo malos olores y condiciones potencialmente peligrosas
  - Impacto de la emisión de gases en el efecto invernadero
  - Generación incontrolada de lixiviados, produciendo contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
  - Reproducción de vectores sanitarios por inadecuada operación del relleno, con riesgo a la salud de la población.
  - Riesgo sanitarios y ambientales por escape de lixiviados, después del cierre del terreno.
  - Riesgo y amenazas provocados por inestabilidad del relleno.
- 
- El presente documento describe los aspectos, tanto técnicos como ambientales para el desarrollo adecuado de un relleno sanitario con aplicación a las municipalidades.

## 2) LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE UN RELLENO SANITARIO

Las fases y componentes que deben tomarse en cuenta para el desarrollo de un proyecto de relleno sanitario, en el marco de las políticas, planes y programas de la gestión de residuos sólidos urbanos, se resume en el siguiente diagrama de flujo:







## 2.1. Políticas y Lineamientos

La evacuación de los residuos sólidos urbanos, constituye un problema de salud pública y ambiental que preocupa desde hace varios años a las autoridades y a la sociedad. Dentro de los temas que tienen relación con la problemática de la protección del medio ambiente, la gestión integrada de residuos sólidos ocupa un lugar principal. Es por ello que es importante desarrollar políticas para la gestión integral de residuos, donde se haga énfasis en la reducción en origen, aprovechamiento y valorización, tratamiento, transformación y su disposición final controlada.

Esta política de gestión integral de residuos incluye la política de producción más limpia, y está basada en los siguientes principios:

- Reducción en el origen: es la forma más eficaz de reducir la cantidad y peligrosidad de los residuos, el costo asociado a su manejo y los impactos ambientales.
- Aprovechamiento y valorización: implica la separación y recolección de materia residual en el lugar de origen, la preparación de los mismos para reutilización, reprocesamiento y transformación en nuevos productos. El aprovechamiento es un factor importante para la conservación y reducción de la demanda de recursos naturales, disminuir consumo de energía, preservar sitios de disposición y reducir contaminación ambiental.
- Tratamiento y transformación: implica la alteración física, química o biológica de los residuos. Típicamente estas transformaciones pueden ser aplicadas a los residuos sólidos urbanos son utilizadas para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos.
- Disposición final controlada: los residuos que no tienen ningún uso adicional, la materia residual que queda después de la separación de residuos sólidos en las actividades de recuperación de materiales y la materia residual restante después de la recuperación de productos de conversión o energía requieren de una disposición final controlada; además se debe poseer una capacidad adecuada en los sitios de disposición final y planes para la clausura.

## 2.2. Planificación Urbana y Regional

Las funciones de las municipalidades, deberán orientarse a la elaboración de los planes, programas y proyectos ambientales municipales, expedición de normas necesarias para el control, preservación y defensa del patrimonio ecológico del municipio, el control y vigilancia de los recursos naturales y del medio ambiente, así como la ejecución de programas de reciclaje, tratamiento y disposición de los residuos sólidos que se generen dentro de su perímetro urbano.

Esta gestión deberá realizarse considerando además el marco legal, que define como responsabilidad de las municipalidades, asegurar la prestación eficiente de los servicios de recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos municipales por parte de las empresas de servicios públicos (oficiales, mixtas o privadas) y asegurar la participación de los usuarios en la fiscalización de las entidades que prestan los servicios públicos.

La planificación urbana o regional para el manejo de los residuos sólidos debe incluir las siguientes actividades:

- Establecer los convenios con los diferentes sectores involucrados para el desarrollo de actividades que minimicen los desechos y aprovechamiento de residuos sólidos.
- Promover proyectos y programas de separación y aprovechamiento de residuos.
- Gestionar la aplicación de los instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de las regulaciones referidas al manejo integral de los residuos.
- Desarrollar programas de divulgación, educación ambiental y capacitación, dirigidos a la comunidad.
- Desarrollar, a través del operador o concesionario, bajo la supervisión del municipio, conforme a las condiciones locales o regionales, la separación y selección en la fuente, así como la educación a los usuarios en el manejo integral de sus residuos sólidos.
- Garantizar la protección al medio ambiente, la salud humana y los recursos naturales en las actividades concernientes a la prestación del servicio de aseo.
- Cumplir con responsabilidades como generador de residuos.

### **3) RELLENOS SANITARIOS**

El relleno sanitario es el sitio donde se depositan los residuos no aprovechables que produce una ciudad, población o zona habitada, de tal manera que, mejorando el paisaje, se produzca el mínimo daño al ambiente y a la salud de la población sometida al riesgo de sus efluentes.

Es el sitio donde diariamente los residuos son recibidos, dispuestos, compactados, cubiertos y donde se realiza el control ambiental (principalmente gases, olores y lixiviados), así mismo, se realiza control y monitoreo a la estabilidad con el fin de prevenir riesgos de deslizamiento.

El relleno Sanitario puede tener la posibilidad de recuperar predios o terrenos alterados por la naturaleza, como los erosionados o los alterados por el hombre.

#### **3.1. Residuos Sólidos**

Se denomina a cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones y de servicios.

Las características de los residuos sólidos varían en cada municipio en función de la actividad dominante (industrial, comercial, turística, etc.), las costumbres de la población como ritmos, costumbres, alimentación, hábitos, patrones de consumo y clima principalmente.

Para determinar las características de los residuos sólidos de una municipalidad determinada es necesario realizar determinaciones periódicas (no más de 10 años en promedio) de los siguientes aspectos; características físicas, químicas, biológicas.

#### **3.2. Gases**

Un relleno sanitario es un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de relleno sanitario y lixiviado como principales salidas. El material almacenado en el relleno sanitario incluye: material orgánico parcialmente biodegradado y otros materiales inorgánicos de los residuos, originalmente colocados en el relleno sanitario.

Se emplean los sistemas de control de los gases para prevenir el movimiento indeseable hacia la atmósfera, o el movimiento lateral o vertical a través del suelo circundante. Se puede utilizar el gas recuperado del relleno para producir energía, o se puede quemar, bajo condiciones controladas, para disminuir la emisión de constituyentes dañinos a la atmósfera.

Los gases encontrados en un relleno sanitario son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, ácido sulfhídrico, metano, nitrógeno y oxígeno, así como ácidos grasos volátiles.

### 3.3. Lixiviados

Se entiende por lixiviado al líquido residual que es generado en la descomposición bioquímica de los residuos o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación, este líquido tiende a salir, por gravedad, por la parte inferior del relleno sanitario, hasta que una capa impermeable lo impida.

En rellenos sanitarios con alturas mayores de 15 metros, es necesario hacer estudios hidráulicos para el manejo de las presiones piezométricas y evitar el aumento de la presión de poros dentro de la masa de residuos, que puede causar problemas de inestabilidad, se deben colocar filtros de piedra, por lo menos cada 15 metros.

En Rellenos Sanitarios con alturas menores de 15 metros, se debe permitir que el lixiviado percole a través de los residuos hasta la capa inferior de material permeable. Los filtros captadores de lixiviados dentro del relleno sanitario irán por la pata del talud, de tal manera que se puedan sacar del área del relleno sanitario y conducirlos a un sistema de tratamiento.

La pendiente longitudinal de estos filtros debe ser siempre mayor que 3%; una vez que salgan del relleno sanitario, los filtros se podrán cambiar por tubería de diámetro mínimo de 15 centímetros, que los lleve al sistema de almacenamiento y tratamiento. Cuando llueve una parte del agua se pierde en la escorrentía superficial, otra se evapotranspira y el agua restante se filtra a través de los residuos en el relleno sanitario siendo contaminada con diversos componentes orgánicos e inorgánicos.

Las características de los lixiviados generados en rellenos sanitarios, dependerán de las características de los residuos depositados y de las condiciones predominantes en el sitio, como temperatura, contenido de humedad, edad del relleno, capacidad del suelo para remover contaminantes y la calidad y cantidad del agua que entra en contacto con la masa de residuos dispuestos (O'Leary y Tausel 1985).

Las características fisicoquímicas de los lixiviados son inherentes tanto a la calidad de los residuos sólidos como a su grado de estabilización. Desde que los residuos sólidos son generados y aún temporalmente dispuestos, tiene lugar la degradación aeróbica, que es comparable con la compostación de los residuos.

### **3.4. Material de Cobertura**

El material de cobertura es aquel que se explota en el mismo sitio del relleno sanitario o en sitios aledaños o es importado de otros lugares y sirve para el cubrimiento de los residuos una vez compactados.

La utilización de material de cobertura tiene como finalidad aislar los residuos de su entorno, ya sea impidiendo la salida indiscriminada de flujos gaseosos no controlados hacia el exterior, o cortando la infiltración de agua de escorrentía hacia el cuerpo de residuo, o actuando como barrera ante la posible acción de animales como insectos, roedores y aves.

Una de las principales funciones del material de cobertura es la de evitar la infiltración del agua de escorrentía; por lo tanto, deberá impedir la formación de encharcamientos y retenciones de agua al tener pendientes suaves, o que, contrariamente, presente erosión por pendientes elevadas.

El material de cobertura debe ser retirado cuando se vaya a construir sobre la terraza una nueva celda, con el fin de darle estabilidad a los residuos, facilitar la percolación de los lixiviados producidos por la descomposición química y permitir la salida de los gases.

El material de cobertura, además de evitar la infiltración del agua de escorrentía e impedir la salida de lixiviados y gases de forma descontrolada, también sirve para el control de incendios, y para dar un aspecto paisajístico agradable al relleno sanitario, también para prevenir la presencia y proliferación de vectores sanitarios (ratas, moscas y otros) así como de gallinazos, controlar y disminuir la entrada de agua a la masa de residuos dispuestos, evitar presencia de humos, minimizar los malos olores, orientar la salida de gases hacia el sistema de drenaje construido para evacuarlos a la atmósfera, servir de soporte para la circulación de vehículos en la operación del relleno y permitir el crecimiento de vegetación.

Las capas de material de cobertura, ya sean intermedias o de sellado final, deben seleccionarse de acuerdo con las categorías que se desee obtener, en la siguiente tabla se muestran algunos tipos de materiales de cobertura utilizados en rellenos sanitarios y su calificación en cuanto a las funciones para las cuales se requieren estos tipos de materiales.

*Tabla No. 1: Tipos de suelos de recubrimiento de Rellenos Sanitarios*

	<b>Grava Limpia</b>	<b>Grava Limosa Arcillosa</b>	<b>Arena Limpia</b>	<b>Arena Limo Arcillosa</b>	<b>Limo</b>	<b>Arcilla</b>
Evitan que los roedores saquen suelo o hagan túneles	B	R-B	B	P	P	P
Impide la salida de moscas	P	R	P	B	B	E
Mínimiza la entrada de humedad al relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Mínimiza la salida de gas a través de la cubierta de relleno	P	R-B	P	B-E	B-E	E
Da una apariencia agradable y controla el vuelo de papeles	E	E	E	E	E	E
Soporta vegetación	P	B	P-R	E	B-E	R-B
Sale gas de la descomposición (es permeable)	E	P	B	P	P	P

*E, excelente; B, bueno; R, regular; P, pobre*

El terreno donde se construirá y operará el relleno sanitario debe tener abundante material de cobertura, el cual debe ser fácil de extraer y, en lo posible, con buen contenido de arcilla por su baja permeabilidad y elevada capacidad de absorción de contaminantes.

Cuando sea escaso en el propio sitio, se debe garantizar su adquisición en forma permanente y suficiente, teniendo en cuenta su disponibilidad en lugares vecinos y los costos de transporte. De no ser así, es preferible desechar el lugar antes del inicio de cualquier trabajo, puesto que se corre el riesgo de convertirlo en un botadero a cielo abierto. Los requerimientos de material de cobertura están entre el 15 y el 30 % del total de los residuos dispuestos.

## **4) PREINVERSIÓN: SELECCIÓN DEL SITIO Y EVALUACIÓN AMBIENTAL**

### **4.1. Ordenamiento Territorial**

La planificación del uso de la tierra es un elemento fundamental en el proceso de ordenamiento territorial municipal, en la medida que permite identificar y seleccionar las mejores formas de utilización de la tierra y de distribución y localización de las actividades en el territorio, considerando la realidad tanto biofísica como socioeconómica, cultural, tecnológica y política del territorio.

### **4.2. Criterios para la localización de un relleno sanitario**

Dentro de un programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos, es necesario contemplar el ciclo de vida del residuo desde su generación hasta el momento en que, no siendo susceptible de aprovechamiento, es necesario disponerlo de forma definitiva y acorde con elementos técnicos, sanitarios y ambientales determinados. Es por ello que, al contemplar las etapas precedentes a la disposición final en un relleno sanitario, se puede distinguir que esta ocupa el último lugar dentro de las prioridades ya que las recomendaciones de la política de gestión se centran en orientar los esfuerzos de manera primordial hacia la reducción en la fuente y el reciclaje.

En virtud de lo anterior, es indudable la necesidad que posee cualquier sistema de manejo de residuos sólidos de contar con un adecuado sistema de relleno sanitario. Por lo tanto, la localización de los sistemas de disposición final de residuos sólidos no aprovechables, peligrosos o biosanitarios requiere el seguimiento de pautas y estrategias claves que permitan la operación adecuada y que no represente ninguna clase de riesgo para la comunidad.

Estas pautas tienen que contar con la provisión de servicios, las características físicas del sector (pendiente, humedad, textura del suelo, entre otros) y la determinación de un orden de elegibilidad regional, los cuales permiten la determinación de la mejor ubicación del relleno entre diferentes áreas determinadas.

La localización del sitio de disposición final y/o relleno sanitario no es una tarea fácil dado que la comunidad desea alejar de su zonas de vivienda o producción “ese problema”. La presencia común en estos sitios de gallinazos, olores, ruido, camiones entrando y saliendo y los recicladores, dan cuenta del mal manejo que hasta el momento se ha dado a la disposición final de los residuos sólidos; entonces, es necesario localizar y operar el relleno sanitario cumpliendo con dos condiciones fundamentales:

- Preservar la salud y el bienestar de la comunidad y
- Preservar los recursos naturales el agua, el aire, el suelo y el paisaje.

En la selección de un sitio determinado para ubicar un relleno sanitario, es necesario considerar una serie de criterios generales y específicos, con los cuales, se evaluarán las condiciones ambientales locales y se analizarán los impactos ambientales, sociales y técnicos que tendría en cada sitio del proyecto en el sector; para ello es importante definir el nivel de complejidad del sistema, el cual, depende del número de habitantes de la zona urbana, su capacidad económica y el grado de exigencia técnica que se requiera para adelantar el proyecto.

Se pueden considerar como condiciones ideales para el sitio donde se ubicará un sistema de tratamiento y/o relleno sanitario las siguientes:

- Ser fácil y rápidamente accesible para los carros recolectores. Permitir su utilización por largo plazo, superior a diez años.
- Tener condiciones naturales que protejan los recursos naturales, la vida animal y vegetal en sus cercanías.
- Estar localizado de modo que el relleno sanitario no sea rechazado por la población.
- Ofrecer material de cobertura, en cantidad y calidad adecuada, dentro de las cercanías del sitio.

A continuación se presentan algunos criterios generales para la localización de rellenos sanitarios; estos deben tomarse como una guía general para tener en cuenta, las restricciones y potencialidades de los sitios que se evalúan para la ubicación de este sistema de disposición final.

Como restricciones (criterios excluyentes) para la localización de rellenos sanitarios los siguientes:

### **Consideraciones físicas**

- Casco Urbano: La distancia mínima con respecto al límite del casco urbano, el uso del suelo del sitio en estudio debe ser compatible con el tipo de actividad que se realiza en los rellenos sanitarios, por tanto debe estar reglamentado en los Planes de Ordenamiento Territorial y en los Planes de desarrollo Local. La ubicación de los rellenos sanitarios no debe imponer restricciones al crecimiento y desarrollo urbano, ni introducir cambios drásticos en el uso del suelo.
- Aeropuertos: El diseñador o las personas encargadas de seleccionar el sitio para la ubicación del relleno sanitario deben respetar los rangos de restricción existentes frente a la cercanía de aeropuertos, sin embargo si el sitio se localiza dentro de los rangos anteriores, se debe demostrar que las aves no representan un peligro para la actividad del aeropuerto.

En la operación del relleno sanitario se deben considerar los procedimientos que se estimen más adecuados para reducir la disponibilidad de alimento para las aves e impedir que estas utilicen el área de disposición final como su hábitat. Entre otras medidas se recomiendan:

1. Cubrimiento de los residuos, el número de veces que sea necesario durante el día, de tal forma que no constituyan una fuente de olores y alimento.
  2. Trituración de residuos que contengan alimento.
  3. Eliminación de residuos del relleno sanitario que representen una fuente de alimento para algunos animales, a través de métodos de aprovechamiento como separación y compostaje.
  4. Uso de barreras físicas como alambradas alrededor del frente de trabajo.
- Cuerpos de agua: La distancia de ubicación del sitio para la disposición final, con respecto a cuerpos de aguas superficiales, deberá ser la indicada en la reglamentación vigente. Esta distancia podrá variar usando para ello las recomendaciones que se obtengan de los Estudios de Impacto Ambiental de la zona; En toda circunstancia pese al cumplimiento de los rangos de distancias

mínimas especificadas, se debe demostrar que dadas las condiciones locales, no se producirá la contaminación de las fuentes superficiales de agua.

- En caso que se prevea algún riesgo de contaminación, por mínimo que este sea, durante la etapa de diseño se deben contemplar las medidas necesarias para evitar, prevenir y controlar la contaminación de los cuerpos de aguas tanto superficiales como subterráneas.
- Zonas de fallas geológicas: El sitio para la localización de Rellenos Sanitarios, debe estar ubicado a cierta distancia de zonas de fallas geológicas que hayan experimentado desplazamiento del sitio desde los últimos 10.000 años (Holoceno), previa demostración que la unidad mantendrá la integridad estructural en el evento de un desplazamiento de la falla, a la par que se garantiza la protección de la vida humana.
- Fuentes de agua potable: La distancia mínima del sitio a los pozos de agua potable, tanto en operación como en abandono, a los manantiales y a cualquier fuente superficial o subterránea de abastecimiento hídrico debe ser la indicada en la reglamentación vigente o la que indique los estudios correspondientes, para evitar la contaminación del agua de abastecimiento. Dicha distancia podrá variar en función de los resultados de los estudios ambientales.
- Infraestructura: Se deberán respetar todas las obras civiles como acueductos, vías alcantarillados, transmisión eléctrica y de comunicación.
- Nivel Freático: Este parámetro debe ser evaluado y podrá variar, de acuerdo a las condiciones específicas del sitio en estudio, ya que la capa de suelo que existe entre la superficie y el nivel de aguas freáticas puede actuar como un filtro o barrera natural, es necesario definir el tipo de suelo, su consistencia y textura para tomar una decisión al respecto.

Entre más impermeable sea el suelo existente entre el fondo del relleno y la tabla de aguas pueden considerarse menores profundidades para la tabla de agua y viceversa. Para proyectos regionales y donde se dispongan grandes cantidades de residuos es necesario que los estudios técnicos demuestren que las aguas superficiales y/ o subterráneas no serán contaminadas.

- Aspectos hidrológicos: El lugar elegido como sitio de disposición final de residuos sólidos no deberá estar localizado en zonas de pantanos, humedales y áreas similares. Para proyectos desarrollados en pequeñas localidades y en caso de tener restricciones en cuanto a este criterio se podrá localizar rellenos en estos sitios siempre y cuando se demuestre que:
  1. No existen otras alternativas de localización disponibles.
  2. No se contaminará el área.
  3. No se violarán las reglamentaciones de calidad del agua.
  4. No se pueden arriesgar especies amenazadas y hábitats críticos.
  5. No se causará o contribuirá a una degradación de los humedales y similares.
  6. El diseño debe demostrar claramente la estabilidad del suelo donde se construirá el relleno sanitario.

- Aspectos Geotécnicos: Los rellenos sanitarios no deberán ubicarse en sitios que puedan generar asentamientos que desestabilicen la integridad del lleno, como estratos de suelos altamente compresibles, sitios susceptibles de deslizamientos.
- Aspectos Sísmicos: Para rellenos sanitarios regionales se deben realizar estudios dinámicos y de licuación. El diseño debe garantizar que la unidad resista la máxima aceleración horizontal y que permanezca estable. Para rellenos sanitarios de tipo local es necesario considerar el riesgo por eventos sísmicos y tener en cuenta las acciones necesarias para minimizar el riesgo de la emisión de dichas sustancias por el relleno y el efecto que puedan tener sobre la salud pública de las personas que habitan en los alrededores del relleno sanitario. Si el nivel de complejidad es alto, se debe contar con una zona especial, bien sea dentro del límite del relleno sanitario, o fuera de él.

La operación de un relleno sanitario, implica la ocupación de un determinado sitio con una serie de características en cuanto a calidad de suelo, vegetación y fauna, que en ocasiones son difíciles de proteger. Por lo anterior el impacto puede ser mayor si el sitio se localiza en una zona de interés ecológico, ya que puede ocasionar daños irreparables en los ecosistemas; por lo que para estos casos, habrá que considerar en la elección del sitio, ciertas variables que se refieran a las características de los ecosistemas colindantes con el sitio, con el fin de evitar cualquier alteración por la obra del relleno sanitario.

Además de lo anterior, la contaminación de los suelos y la disminución de su productividad, debido al contacto que pueden tener con lixiviados que se generan en cualquier sitio de disposición final de basura, son alteraciones que dañan a la agricultura, o bien llegan a inutilizar terrenos altamente cotizados para un determinado uso.

### **4.3. Metodología para determinar sitios adecuados para la disposición de desechos**

Para la selección del sitio donde se construirá un relleno sanitario, es importante la ponderación de aspectos técnicos, socioeconómicos, financieros y ambientales, basados en las condiciones locales del entorno donde se localizaría el relleno sanitario, cuyo resultado final será un sitio con la mayor viabilidad para el proyecto. Esta metodología debe incluir como criterios de selección los siguientes aspectos:

- Distancia de transporte: La distancia de transporte desde el sitio de generación hasta el sitio de disposición, es una de las variables importantes en la selección del lugar, ya que puede afectar significativamente diseño, operación y gestión del sistema de residuos. Son deseables las distancias mínimas de transporte, que inciden positivamente en el aspecto económico y financiero de la opción.
- Restricciones en la disponibilidad de un terreno: Con respecto a la localización del relleno sanitario se debe considerar su cercanía a terrenos aluviales, zonas húmedas y zonas inestables, los cuales introducen restricciones para su ubicación; es necesario contar con un terreno que posea las máximas distancias a estas zonas especiales.

- Condiciones del suelo y topografía: Debido a la necesidad de cubrir los residuos colocados en el relleno sanitario diariamente, así como proporcionar una cobertura final después de completar la operación de vertido, es importante tener datos sobre las cantidades y las características del suelo en la zona de influencia (disponibilidad de material de cobertura), ya que esto incidirá sobre los costos de operación del relleno y obviamente en la escogencia o no del sitio.

Si se va a utilizar como material de cobertura el suelo del lugar propuesto para el relleno sanitario, deben conocerse sus características geológicas e hidrológicas. Si el material de cobertura va a proceder de otro lugar, habrá que hacer sondeos para caracterizarlo, tener en cuenta la topografía local por que afectara el tipo de operación de disposición utilizado y conocer las necesidades de equipamiento y de trabajo necesario para hacer que el lugar sea utilizable.

- Hidrología de aguas superficiales: La hidrología de aguas superficiales de la zona a intervenir es importante para determinar las características de drenaje natural y de escorrentía existentes que hay que tener en cuenta. Deben identificarse también otras condiciones de inundación. Como hay que desarrollar medidas para desviar la escorrentía superficial fuera del lugar del relleno sanitario, al hacer el diseño se debe tener mucho cuidado en el momento de definir los canales de flujo existentes, el área y las características de la cuenca.
- Condiciones geológicas e hidrogeológicas: Estos son los factores más importantes para establecer la idoneidad ambiental del lugar para instalar el relleno sanitario. Se necesitan datos sobre estos factores para valorar la contaminación potencial del lugar propuesto y para establecer lo que hay que hacer en el lugar, para asegurar que el movimiento del lixiviado o de los gases procedentes del relleno sanitario no afectará negativamente la calidad de las aguas subterráneas locales o contaminará otros acuíferos subsuperficiales.
- Condiciones ambientales locales: Se deben analizar las condiciones ambientales del entorno donde se asentará el relleno sanitario, considerando si van a ser ambientalmente aceptables respecto al tráfico, ruidos, olores, polvos, residuos volantes, impacto visual, control de vectores sanitarios, peligro para la salud, y valores de la propiedad.
- Salud y seguridad pública: Para cuestiones de salud, seguridad laboral y pública y evitar accidentes en el entorno del relleno sanitario se debe señalizar y tener acceso restringido con el fin de supervisar el acceso al lugar.
- Uso del relleno sanitario: Una de las ventajas de un relleno sanitario consiste en que una vez completado, queda disponible para otros usos el área de terreno intervenida. Como la utilización final de este terreno influye en el diseño y el funcionamiento del relleno sanitario se debe resolver esta cuestión antes de comenzar con el trazado y el diseño del relleno sanitario. Las posibilidades para un uso indiscriminado cuando se completa un relleno son cada vez más limitadas por las normativas que tratan sobre la clausura y postclausura de rellenos sanitarios.

## 4.4. Estudios Ambientales

El Estudios de Impacto Ambiental permite obtener el conocimiento de las condiciones ambientales del medio para prevenir las consecuencias ambientales de la instauración de un proyecto en dicho medio. Entre los objetivos de los estudios ambientales podemos citar, la identificación de los impactos ambientales que puede generar el proyecto sobre el ambiente que se instaura y estimar las causas y las consecuencias de los impactos para proponer las medidas de mitigación, compensación, soluciones o acciones para el manejo de los mismos.

El impacto ambiental es la alteración que el proyecto produce en el medio, el cual puede ser favorable o desfavorable. Las Evaluaciones del Impacto ambiental deben ser estudios de carácter objetivo e interdisciplinario. Las mismas deben ir articuladas al tipo de proyecto, de acuerdo con esto en las etapas iniciales de planeación o de prefactibilidad de los proyectos se realizan el reconocimiento general y la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En las etapas de diseño se realizan los diseños del Estudio de Impacto Ambiental, Pronostico-Plan de Gestión Ambiental (P-PGA) y los estudios complementarios exigidos según la legislación vigente.

En las etapas de construcción se realizan las evaluaciones de regencia ambiental, que igualmente son exigidas en la etapa de operación junto con las evaluaciones del Plan de Gestión Ambiental. Igualmente para las fases finales del proyecto durante su desmantelamiento se exigen Planes de Manejo para el desmonte de estructuras y equipos.

Una Evaluación de Impacto Ambiental comprende, a modo general, los siguientes pasos:

- Descripción del proyecto.
- Descripción del ambiente físico
- Identificación y Evaluación de Impactos.
- Formulación del Plan de Gestión Ambiental (incluye Monitoreo y Seguimiento, Plan de Contingencias y Emergencias).

### 4.4.1. Descripción del proyecto

En la descripción del proyecto se presentan las características generales y los datos técnicos del proyecto desde el punto de vista de su interés para la evaluación ambiental que se va a realizar utilizando como fuente los estudios del proyecto y la consulta con especialistas. Esta fase de la evaluación tiene varios objetivos claros dentro de los que están, además de presentar una visión del proyecto, las siguientes:

- Identificar las acciones que van a ocasionar cambios en el ambiente (acciones susceptibles de producir impactos).
- Determinar las demandas ambientales del proyecto, es decir, los requerimientos de recursos naturales lo cual debe ser en todas sus fases, el establecimiento de la demanda ambiental del proyecto permite identificar y calificar las afectaciones que se sucederán sobre cada uno de los elementos ambientales.

En la siguiente tabla se presentan algunas demandas ambientales típicas para un proyecto de disposición final de residuos sólidos.

*Tabla No. 2: Demanda ambiental de un proyecto de disposición final de residuos sólidos*

RECURSO	UNIDAD
Área con cobertura arbustiva a afectar	m <sup>2</sup>
Volumen de suelo fértil a remover	m <sup>3</sup>
Volumen de suelo estéril a remover	m <sup>3</sup>
Volúmenes de relleno	m <sup>3</sup>
Material de cobertura a emplear	m <sup>3</sup>
Volumen de material para dique	m <sup>3</sup>
Volumen faltante a explotar	m <sup>3</sup>
Volumen de grava	m <sup>3</sup>
Volumen de arcilla a emplear	m <sup>3</sup>
Volumen de arena	m <sup>3</sup>
Volumen de triturado para chimeneas	m <sup>3</sup>
CARGA CONTAMINANTE	UNIDAD
Volumen de lixiviados a generar	Millones de m <sup>3</sup>
Volumen de gases a generar	Millones de m <sup>3</sup>

Para una mejor evaluación se debe precisar, para cada una de las actividades del proyecto, en qué fase de desarrollo de este se producen (pre-operativa, operativa o de desmantelamiento) haciendo énfasis en las acciones susceptibles de producir impactos.

El esquema de procedimiento para la ejecución de la fase de descripción del proyecto recoge los estudios técnicos y de ingeniería del mismo y su información general, para en primera instancia hacer una descripción de las obras y los componentes del proyecto con el fin de determinar aquellas acciones que generarán cambios en el medio ambiente. La descripción de los procesos de construcción y operación permitirá determinar las necesidades de recursos naturales lo que constituye las demandas ambientales del proyecto.

La importancia de la identificación de las acciones susceptibles de producir impactos está dada en el hecho que éstas son las acciones que directa o indirectamente producen cambios en el ambiente donde se ubica el proyecto, de manera que manteniendo un control sobre las mismas se puedan evitar o disminuir,

mediante la adopción de medidas de manejo, dichas alteraciones. Igualmente permite visualizar la forma como el proyecto interactúa con el ambiente y facilita la identificación de las relaciones causa-efecto.

#### **4.4.2. Descripción del Ambiente Físico**

Esta corresponde a la fase de identificación de aquellos elementos, cualidades y procesos del medio ambiente que pueden ser modificadas por la ejecución del proyecto. En otras palabras se trata de despiezar el entorno para detallar los componentes del ambiente, que reciben impactos.

La descripción del ambiente tiene como objetivo caracterizar el ambiente en un estado sin proyecto, la importancia o valor del mismo, que permita determinar las alteraciones potenciales que ocasionará la puesta en marcha del proyecto.

En la descripción del ambiente no se tiene en cuenta sólo lo natural, debe también incluirse lo social, lo cual, viene dado en función de la demografía, lo político, lo económico y lo cultural.

La descripción del ambiente debe incluir en su inventario todos los factores ambientales que se puedan ver afectados por la ejecución del proyecto, lo cual, debe abordarse con sumo cuidado para recolectar la información estrictamente necesaria. Para facilitar el entendimiento del medio, el ambiente se debe subdividir en sistemas, componentes y factores.

Con base en la información de la primera fase en donde se describió el proyecto se determinan los componentes ambientales afectados por el proyecto para luego determinar los factores ambientales susceptibles a impactos, los cuales corresponden a los factores que pueden ser afectados por las distintas acciones del proyecto en cada una de sus fases.

Con la identificación de los factores, los estudios ambientales ganan en profundidad porque se enfoca hacia los aspectos que realmente pueden ser afectados por el proyecto descartando aquellos que no sufren mayor alteración, con esto se optimizan igualmente los recursos del estudio.

Se debe precisar el área de Influencia, o espacio sobre el cual se pueden causar impactos ambientales por el proyecto. Se debe tener en cuenta que el área de influencia puede ser directa e Indirecta.

#### **4.4.3. Identificación de Impactos**

Teniendo en cuenta la demanda ambiental del proyecto y que en el estudio ambiental del proyecto se deben estructurar las medidas específicas para controlar, compensar, prevenir o mitigar los impactos ambientales que se derivarán de la construcción de las obras, así como las medidas para atender cualquier contingencia, se deben identificar estos impactos para precisar las acciones de control.

Para ello se elabora una lista de impactos que por lo general se presenta en este tipo de obras, de acuerdo con las características particulares de las áreas de influencia directa e indirecta donde se construirá el proyecto, seguidamente debe hacerse la descripción de cada uno de los impactos que se presentarán por la ejecución del proyecto con el fin de justificar su inclusión en la calificación ambiental. En la siguiente tabla se presentan los impactos que se esperan por la ejecución del proyecto.

Tabla No. 3: Identificación de impactos ambientales

COMPONENTE	ELEMENTO	IMPACTO	INDICADORES
Atmosférico	Calidad del aire  Ruido	Alteración en la fase Gaseosa Alteración en la fase Sólida Incremento de los niveles de presión sonora	Metano (CH <sub>4</sub> ), dióxido de Carbono y sulfuro de hidrógeno (H <sub>2</sub> S) Material particulado Niveles de ruido
Geosférico	Suelos  Geomorfología	Aumento de capa fértil del suelo Alteración de las características edáficas  Contaminación Activación de procesos Erosivo Cambio en las geoformas	Volumen de suelo fértil como cobertura final Propiedades físicas, químicas y de fertilidad (estructura, macro y micronutrientes del suelo, entre otros) Presencia de aceites y grasas, cemento, residuos sólidos, etc. Superficie expuesta al arrastre Cambio en la topografía
Hidrosférico	Calidad de aguas	Aporte de sustancias Deletéreas Alteración de las características hidráulicas de la microcuenca.	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, conductividad, grasas y aceites, pH, turbiedad, oxígeno disuelto y temperatura. Rendimientos, tiempos de concentración de caudales, características morfométricas.

En la Evaluación de Impactos concretan las interrelaciones entre el proyecto y el medio ambiente por medio de una matriz de calificación de impactos, para lo cual, se establecen criterios que determinan el tipo y grado de severidad del impacto ambiental en términos cualitativos.

#### **4.4.4. Plan de Gestión (Manejo) Ambiental**

Los efectos e impactos ambientales, anteriormente descritos, en los diferentes escenarios receptores, desde los ecosistemas, el paisaje, la salud pública, la población, y el entorno en general, pueden ser perfectamente prevenibles, mitigables, minimizables, controlables y corregibles en la medida que se tomen todas las precauciones en la planificación, diseño, construcción, operación y gestión ambiental del proyecto.

En el caso del Plan de Gestión Ambiental para un relleno sanitario debe indicarse como mínimo los siguientes componentes, para cada una de las etapas del proyecto:

- Factor impactado
- Impacto considerado
- Medidas de mitigación, prevención, compensación, corrección, etc.
- Recursos
- Responsable
- Costos
- Cronograma de ejecución

### **5) INVERSIÓN: DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS**

El objetivo del proceso de diseño de un relleno sanitario es dirigir o guiar la construcción y operación del sistema de disposición final de residuos sólidos. El diseño deberá asegurar entre otros los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de la regulación y requerimientos de las autoridades ambientales
- Adecuada protección al ambiente y las comunidades circunvecinas
- Eficiente utilización de la mano de obra, equipos, vida útil y material de cobertura y demás recursos comprometidos.

Los documentos finales entregados son las memorias de diseño y consisten en memorias de diseño, parámetros adoptados, memorias de cálculo, planos de construcción, especificaciones, presupuesto y plan de manejo ambiental, este último involucra el plan de monitoreo, seguimiento y control, el plan de contingencia, riesgos y amenazas. Igualmente debe contener el Manual de Operación y Mantenimiento.

#### **5.1. Metodología del diseño**

Contar con un adecuado planeamiento del proceso de diseño de un sistema de disposición final de residuos sólidos disminuye los retrasos y costos en los diseños.

Estas actividades son listadas en su orden de ejecución, sin embargo, en muchos casos separar las tareas puede y debe hacerse concurrentemente o por fuera del orden mostrado. Como se muestra en la siguiente tabla, las tareas iniciales consisten en recopilar la información existente y generar nueva información sobre los residuos y las condiciones del sitio. Obviamente, parte de esta información tendría que ser



	<p>7) Códigos de construcción de edificaciones</p> <p>8) Licencia ambiental</p>
<b>PASOS</b>	<b>Tareas que Deben Tenerse en Cuenta Dentro del Plan Municipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos</b>
3	<p><b>Diseño del área de llenado</b></p> <p><u>a) Selección del método de disposición basado en:</u></p> <p>1) Características de los residuos      4) Lecho rocoso  2) Topografía y límites                      5) Aguas Subterráneas  3) Suelos</p> <p><u>b) Dimensionamiento de las celdas de disposición</u></p> <p>1) Ancho de la celda                              4) Profundidad del llenado  2) Profundidad de la celda                      5) Espesor de la cobertura intermedia  3) Longitud de la celda                          6) Espesor de la cobertura final</p> <p><u>c) Especificación de las características operacionales</u></p> <p>1) Uso del material de cobertura  2) Método de aplicación del material de cobertura  3) Necesidad de material de préstamo para la cobertura  4) Requerimientos de equipo  5) Requerimientos de personal</p>
4	<p><b>Diseño de las instalaciones</b></p> <p><u>a) Control de lixiviado</u>  <u>b) Control del Gas</u>  <u>c) Control de aguas superficiales y de escorrentía</u>  <u>d) Vías de acceso</u>  <u>e) Áreas especiales de trabajo</u>  <u>f) Manipulación de residuos especiales</u>  <u>g) Estructuras</u>  <u>h) Cerramiento</u>  <u>i) Utilidades</u>  <u>j) Iluminación</u>  <u>k) Campamento</u>  <u>l) Monitoreo y supervisión</u>  <u>m) Cobertura vegetal</u></p>

PASOS	Tareas que Deben Tenerse en Cuenta Dentro del Plan Municipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos																				
5	<p><b>Preparación de planos de operación</b></p> <p><u>a) Planos de adecuación inicial de las áreas de llenado</u></p> <p><u>b) Desarrollo de planos de contorno</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Planos de excavación</li> <li>2) Planos de llenado secuencial</li> <li>3) Diseños de la configuración final</li> <li>4) Sistemas para el control de basura dispersada por el viento, entrada y salida de vectores, dispersión de olores, polvo y ruido.</li> </ol> <p><u>c) Estimación del volumen de almacenamiento de los residuos, volúmenes de tierra requeridos y vida útil del sitio.</u></p> <p><u>d) Planos locativos que muestre:</u></p> <table border="0"> <tr> <td>1) Áreas normales de llenado</td> <td>8) Cerramiento</td> </tr> <tr> <td>2) Áreas especiales de trabajo</td> <td>9) Utilidades</td> </tr> <tr> <td>3) Control del lixiviado</td> <td>10) Iluminación</td> </tr> <tr> <td>4) Control del gas</td> <td>11) Campamento</td> </tr> <tr> <td>5) Control de aguas superficiales</td> <td>12) Monitoreo y Supervisión</td> </tr> <tr> <td>6) Vías de acceso</td> <td>13) Cobertura vegetal</td> </tr> <tr> <td>7) Estructuras</td> <td></td> </tr> </table> <p><u>e) Preparación de planos de elevación con cortes seccionales de:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Altura de llenado</li> <li>2) Llenado completo los puntos intermedios</li> <li>3) Desarrollo de la fase de llenado en</li> </ol> <p><u>f) Detalles de construcción</u></p> <table border="0"> <tr> <td>1) Control de lixiviado</td> <td>4) Vías de acceso</td> </tr> <tr> <td>2) Control de gases</td> <td>5) Estructuras</td> </tr> <tr> <td>3) Control de aguas superficiales y escorrentía</td> <td>6) Monitoreo y supervisión</td> </tr> </table> <p><u>g) Uso final del área de disposición</u></p> <p><u>h) Estimación de los costos</u></p> <p><u>i) Informe final de diseño</u></p> <p><u>j) Evaluación del Impacto Ambiental</u></p> <p><u>k) Elaboración del manual de operación</u></p> <p><u>l) Solicitud de licencias y permisos de operación</u></p>	1) Áreas normales de llenado	8) Cerramiento	2) Áreas especiales de trabajo	9) Utilidades	3) Control del lixiviado	10) Iluminación	4) Control del gas	11) Campamento	5) Control de aguas superficiales	12) Monitoreo y Supervisión	6) Vías de acceso	13) Cobertura vegetal	7) Estructuras		1) Control de lixiviado	4) Vías de acceso	2) Control de gases	5) Estructuras	3) Control de aguas superficiales y escorrentía	6) Monitoreo y supervisión
1) Áreas normales de llenado	8) Cerramiento																				
2) Áreas especiales de trabajo	9) Utilidades																				
3) Control del lixiviado	10) Iluminación																				
4) Control del gas	11) Campamento																				
5) Control de aguas superficiales	12) Monitoreo y Supervisión																				
6) Vías de acceso	13) Cobertura vegetal																				
7) Estructuras																					
1) Control de lixiviado	4) Vías de acceso																				
2) Control de gases	5) Estructuras																				
3) Control de aguas superficiales y escorrentía	6) Monitoreo y supervisión																				

## **6) CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL RELLENO**

Los procedimientos para la operación de un relleno sanitario están determinados por muchos factores que varían de acuerdo al sitio donde este se ubique.

El diseño de un plan operacional (manual de operaciones) preparado en la fase de diseño sirve como un recurso primario que documenta y provee los detalles técnicos para la construcción y puesta en marcha del sistema de disposición final de residuos.

A continuación se presentan algunas orientaciones básicas a tener en cuenta en el proceso de operación de un relleno sanitario.

### **6.1. Preparación del sitio**

Después de obtener los permisos de las autoridades correspondientes, se inicia la construcción del relleno sanitario, siendo la preparación del sitio la primera labor a efectuar, la cual comprende las actividades, replanteo, descapote o remoción de coberturas vegetales, de excavaciones, llenos, movimiento de tierra y demás modificaciones al terreno natural tendientes a adecuarlo en las áreas donde se construirán las instalaciones generales del relleno y las áreas donde se adelantará la disposición de residuos.

La preparación del sitio comprende tres ítemes importantes: la infraestructura periférica, la adecuación de área de lleno o disposición y las construcciones auxiliares.

*Tabla No. 5: Infraestructura periférica*

Vías de Acceso	Para facilitar el acceso de los vehículos al relleno sanitario se debe conformar una vía pública de acceso principal de uso permanente que reúna las condiciones aceptables de diseño. Esta vía puede ser construida en afirmado o pavimentada, la Figura No 8.1 ilustra una vía.
Drenaje de Agua de Lluvias	Las aguas de lluvias que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario deben ser recolectadas, desviadas y transportadas hasta el cuerpo superficial de agua más cercano evitando su ingreso al relleno sanitario lo que contribuye significativamente a reducir el volumen del líquido percolado y a mejorar las condiciones de la operación.  Es necesario construir un canal en tierra o suelo-cemento de forma trapezoidal, y dimensionado de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía.

*Tabla No. 6: Actividades adecuación del área de disposición*

Replanteo	Replanteo de las áreas a adecuar siguiendo las recomendaciones de pendientes longitudinales y transversales, así como las cotas establecidas en los planos de diseño.
Retiro de la Cobertura Vegetal	Desmante y retiro de la cobertura vegetal del área de trabajo replanteada en la actividad anterior.
Descapote	Descapote del área a intervenir para lograr una superficie apta la colocación del sistema de impermeabilización del relleno.
Llenos	Relleno con materiales competentes de acuerdo con las especificaciones y recomendaciones técnicas llegando a las cotas que aparecen en los planos de diseño.
Cortes	Los taludes del terreno se dejan de tal manera que no causen erosión y puedan darle buena estabilidad al relleno. Estos pueden ser desde verticales hasta 3:1 (H:V), dependiendo del tipo de suelo. Las terrazas deben tener una pendiente del 2% hacia los taludes interiores para conducir las aguas de lixiviado a los drenajes, y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar mayor estabilidad a la obra.
Impermeabilización del Área de Disposición	<p>Con el objeto de evitar la fuga de lixiviados al subsuelo y por ende la contaminación de las aguas subsuperficiales y subterráneas, se deben adelantar las siguientes actividades tendientes a lograr la impermeabilización del fondo y las paredes del relleno. Una vez conformado el terreno, sobre la superficie del fondo del relleno, se colocará capa de material impermeable que puede ser suelo arcilloso o un material sintético impermeable, conservando una pendiente mínima del 3% en el sentido longitudinal y las cotas establecidas en los planos de diseño.</p> <p>Sobre este sistema de protección del suelo se procederá al extendido de una capa arena con un espesor mínimo de 0.15 m conservando las pendientes de la conformación de la base del relleno. En el sector de los filtros donde estarán ubicada las tuberías de drenaje de lixiviados, se dispondrá de un material granular con diámetro entre 1” y 2” conformando una canal junto con la tubería, conservando las pendientes del 3% en el sentido longitudinal (dirección del drenaje principal) y las cotas establecidas en los planos de diseño. Esta capa de grava tiene como función permitir el flujo de los lixiviados hacia la zona de filtros. Sobre la conformación anterior, se dispondrá una capa granular. Sobre esta capa se colocarán los residuos sólidos y sobre este lecho podrán fluir fácilmente los lixiviados generados en el proceso de biodegradación.</p>

<p>Construcción del Filtro Recolector de Lixiviados</p>	<p>La construcción de estas obras son tendientes a garantizar la recolección y conducción de los lixiviados generados por la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos dispuestos. Para garantizar este drenaje se deben realizar las siguientes actividades: Sobre el terreno adecuado se procederá a la localización del sistema de filtros conforme a los diseños presentados, el cual puede ser similar al de un sistema espina de pescado.</p> <p>Una vez realizado el replanteo de los filtros se procederá a las excavaciones del caso, conformando la sección del filtro de acuerdo a los planos de diseño, siguiendo una pendiente mínima del 3% en el sentido longitudinal (dirección del drenaje principal) y del 5% en el sentido transversal, y las cotas establecidas en los planos de diseño.</p> <p>Una vez se coloque la geomembrana contemplada en la impermeabilización del fondo del relleno, se procederá a la colocación de una capa de grava de 0.15 m de espesor y diámetro entre 1 y 2, sobre esta capa de grava se coloca una tubería perforada RDE21 de PVC y de diámetro de acuerdo a los planos de diseño la cual debe ir perforada. Se recomienda que el diámetro del filtro principal se mayor que los filtros secundarios; por último, se llena el filtro con una capa de grava de diámetro entre 1” y 2” hasta la cota señalada en los planos.</p>
<p>Chimeneas para la Extracción de Gases</p>	<p>Una vez se haya terminado la construcción de sistema de filtro para evacuación de lixiviados y la barrera de impermeabilización del fondo del relleno se procederá a la localización y replanteo de los puntos donde se construirán las chimeneas para gases. El drenaje de gases está constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada de concreto o PVC revestidas en piedra, que funcionar á a manera de chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie.</p> <p>Estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando siempre una buena compactación a su alrededor; se recomienda instalarlas cada 20 ó 50 m, con un diámetro entre 0.30 y 0.50 m cada una, de acuerdo a los planos de diseño. Una vez localizado el punto donde se construirá la chimenea se retirará la capa de grava que se tiene sobre el filtro de lixiviados con el fin de permitir una mayor comunicación entre el filtro y la chimenea, pues se recomienda interconectar los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.</p> <p>Sobre el área despejada del filtro se debe adelantar la armada del gavión y la colocación en su interior de una tubería PVC sanitaria con perforaciones de ½ pulgada de diámetro cada 10 cm. Una vez colocada la tubería, se debe llenar el gavión con gravilla o material triturado, cuidando de no causar daños a la tubería ya instalada, el tamaño mínimo del material debe ser de 10 cm.</p>

Tabla No. 6: Construcciones auxiliares

<p>Pozos de Inspección de Calidad de las Aguas Subterráneas</p>	<p>La evaluación de la calidad de las aguas subterráneas se realizará mediante la construcción de pozos de inspección localizados en la periferia del relleno. Para la perforación se puede utilizar como equipo un barreno helicoidal tipo Auger, el cual deberá tener la opción de barreno sólido y de eje hueco. Se debe dar preferencia a equipo con barreno de eje hueco de diámetro no inferior a 11,43 cm (4.5 pulgadas). Los barrenos helicoidales tipo Auger son apropiados para perforar en material no consolidado y moderadamente consolidado finamente gradado (partículas tipo arena y menores). Adicionalmente, debido a que no se utilizan fluidos de perforación, se reduce la posibilidad de introducir contaminantes al agua subterránea. Los pozos se completarán en la tabla de agua, decidiendo en el campo y durante la construcción la profundidad definitiva dependiendo de las condiciones que se encuentren durante la perforación y los estudios geofísicos adelantados para el proyecto.</p>
<p>Báscula</p>	<p>Con el fin de llevar un registro de las características, cantidad y fuente de los residuos que ingresan al relleno sanitario para su disposición, se recomienda la instalación de un sistema de pesaje de los vehículos que ingresan con residuos sólidos al relleno en este lugar se debe registrar además la información correspondiente a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso del vehículo al ingreso al relleno</li> <li>• Peso del vehículo a la salida del relleno</li> <li>• Hora de Ingreso y egreso:</li> <li>• Origen: lugar donde vienen los residuos, para efectos de la operación es necesario codificar estos lugares para facilitar la labor de ingreso de datos y de hacer resúmenes de la información.</li> <li>• Placa: identificación del vehículo.</li> <li>• Compañía: nombre de la compañía transportadora de residuos.</li> </ul> <p>Cuando no se dispongan de los recursos necesarios para la construcción de un sistema de pesaje debe instalarse una caseta de registro y control de vehículos a la entrada del relleno donde en forma manual o sistematizada se consigne esta información.</p>
<p>Vías y Drenaje Pluvial Internos</p>	<p>Durante la construcción del relleno sanitario, se deben conformar cuidadosamente los caminos de acceso interno dentro del recinto del relleno, ya que por el permanente desplazamiento de estas rutas, aumenta la posibilidad de originar serios trastornos en épocas lluviosas.</p> <p>Para entregar los residuos en el frente de trabajo, se acepta como vía interna una pequeña carretera con ancho suficiente para circulación en un sentido de los vehículos, en afirmado simple y con sus drenajes, estas deben mantenerse en buenas condiciones durante todo el año. La pendiente máxima podrá ser de 7 a 10%, según el estado de los vehículos y si remontan la pendiente cargados o vacíos. Si la frecuencia de transporte de los residuos es significativa (de acuerdo con el nivel de complejidad), debe contemplarse la posibilidad de una vía con circulación en doble sentido.</p>

Cerco Perimetral	Se debe construir una cerca perimetral para darle seguridad y disciplina a la obra. Es importante también para impedir el libre acceso de personas y animales al interior del relleno, dado que aquél no sólo entorpece la operación, sino también destruye las celdas, especialmente cuando se retiran los trabajadores al fin de la jornada diaria.
Caseta	La construcción de una caseta es importante para ser usada como: Lugar para guardar las herramientas, cambio de ropa (antes y después del trabajo), instalaciones sanitarias, cocineta para calentar alimentos en una hornilla y resguardo de los trabajadores en caso de una fuerte lluvia.
Instalaciones y Servicios Públicos	El sitio debe contar con instalaciones mínimas que aseguren la comodidad y bienestar de los trabajadores. Para conseguir lo anterior, se debe llevar agua al relleno para los servicios sanitarios; en períodos secos, es aconsejable esparcir un poco de agua sobre la superficie del relleno con ayuda de una manguera, para obtener una mejor compactación y evitar la presencia de polvo, por lo cual es vital la disponibilidad desagües en el relleno. Se debe disponer igualmente de teléfono y fluido eléctrico en el relleno sanitario.
Patio de Máquinas	Es conveniente preparar una zona de aproximadamente 200 m <sup>2</sup> (10 x 20 m) para que el parqueo y mantenimiento de la maquinaria de operación del relleno sanitario.

## 6.2. Descargue de residuos

Las rutas de entrada y salida al frente de trabajo deben cambiarse continuamente. Por esta razón se deben contemplar la construcción de bermas lo suficientemente anchas con el fin de facilitar la maniobra de los vehículos que depositan los residuos.

## 6.3. Manejo y cubrimiento de celdas

*Tabla No. 7: Manejo y cubrimiento de celdas*

Frente de Trabajo	<p>El frente de trabajo es el área en la cual los vehículos descargan los residuos sólidos para la posterior construcción de la celda diaria. Con el propósito de garantizar las mejores condiciones de operatividad, se tratará de mantener un área de maniobra para los vehículos en el frente de trabajo de 15 m. Para lograr una mejor compactación y distribución uniforme de los residuos en el relleno, esta área se dividirá en tres zonas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona de descargue.</li> <li>• Zona de disgregación.</li> <li>• Zona de compactación (los residuos se distribuyen en capas de 0.30 m y se compactan hasta alcanzar la densidad de compactación deseada).</li> </ul>
	Las celdas diarias son unidades funcionales de los esquemas de manejo de los

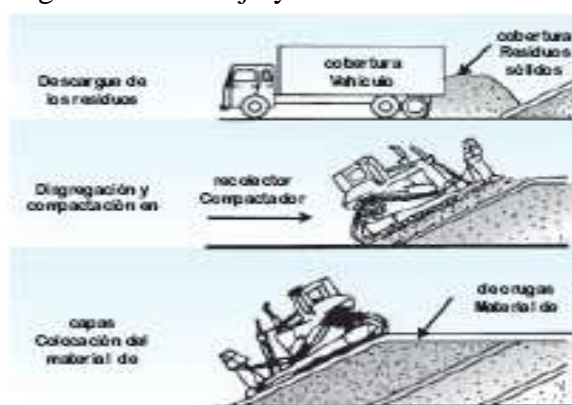
Celda Diaria	rellenos sanitarios donde son confinados los residuos que llegan al sitio durante una jornada de trabajo. Las celdas están conformadas básicamente por los residuos sólidos y el material de cobertura, y serán dimensionadas con el objeto de economizar tierra, sin perjuicio del recubrimiento, y con el fin de que proporcionen un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores.
--------------	--

- **Material de Cobertura:** Es el material utilizado para aislar los residuos del medio exterior con el fin de reducir la infiltración de aguas lluvias que puedan aumentar el caudal de lixiviados, controlar el movimiento de gases, evitar la ocurrencia de incendios, evitar la proliferación de vectores y disminuir los malos olores entre otros aspectos.

*Tabla No. 8 Material de cobertura*

Cobertura Diaria	Esta cobertura tendrá un espesor que va de 0.10 a 0.30 m y se colocará diariamente sobre los residuos dispuestos.
Cobertura Intermedia	Es la capa de tierra con espesores de tierra de 0.30 m colocada sobre la cobertura diaria, si no se disponen residuos sólidos sobre una celda dentro de los treinta (30) días siguientes.
Cobertura Final	<p>Este tipo de cobertura se adelantará en la zona donde se logren los niveles finales de diseño, su colocación se hará de la siguiente manera: La compactación del material de cobertura se efectuará con equipos mecánicos autopropulsados como Bulldozer DC-6 y superiores los cuales además desempeñaran las labores para la disgregación y homogeneización de los residuos sólidos y para la extendida de los materiales de cobertura.</p> <p>En la Figura No. 8.7, se muestran las principales actividades del proceso de manejo y conformación de las celdas en la disposición de residuos sólidos. Los residuos son descargados en el frente de trabajo por los vehículos recolectores, posterior a esto los vehículos compactadores disgregan el material y lo compactan en capas para conformar la celda, luego de completar la altura de la celda se coloca el material de cobertura compactándolo a la vez.</p>

Figura N 1: Manejo y cubrimiento de celdas



## 6.4. Controles Ambientales

El desarrollo de los rellenos sanitarios debe considerar estrategias y alternativas de control y tratamiento para disminuir los efectos adversos sobre el medio ambiente. Como mínimo debe tomarse en cuenta el control sobre los siguientes factores:

- Lixiviados
- Gases
- Prácticas durante tiempo de lluvia
- Residuos Especiales
- Horarios

*Tabla No. 9: Prácticas de control ambiental*

<p>Un relleno debe cumplir como mínimo con las siguientes características:</p>	<p>Lugar adecuado</p> <p>Protección de aguas subterráneas (impermeabilización y drenaje del vaso de vertido, evacuación adecuada de lixiviados)</p> <p>Protección de aguas superficiales (interceptación perimetral de aguas exteriores, control de escorrentía interna, control y depuración de lixiviados)</p> <p>Protección visual (barreras vivas de aislamiento perimetral y cobertura de los residuos con capas vegetales)</p> <p>Protección contra la dispersión de objetos volantes, olores y partículas</p> <p>Protección contra la circulación libre de personas y animales (cerramiento y control de entrada)</p> <p>Protección contra gases (chimeneas de ventilación y barreras impermeabilizables)</p> <p>Vías para circulación interna</p> <p>Señalización o indicación mediante vallas</p> <p>Control de residuos. Báscula y oficinas</p> <p>Zona de mantenimiento (Taller, repuestos, equipos de reserva)</p> <p>Seguridad e higiene (Baños, botiquín, instalaciones contra incendios)</p> <p>Protección contra insectos, roedores y aves</p> <p>Aislamiento de residuos mediante la cobertura diaria</p>
<p>Control de Material Particulado</p>	<p>Las partículas presentes en el aire en un sitio de disposición final son generadas por el viento, por los vehículos de recolección y por el equipo que transitan en los caminos. Las emisiones particuladas también pueden generarse durante la descarga, colocación y compactación de los residuos sólidos o durante la excavación y el transporte de suelos secos. Para reducir la cantidad de material particulado, los caminos de acceso deben pavimentarse o tener una capa de grava. Además, se les puede aplicar agua u otros productos químicos que controlan el polvo. Pero debe dejarse de lado la práctica de verter aceites residuales en los caminos. La excavación o el movimiento de suelos cuando están húmedos limita la generación del material particulado. En forma similar, los residuos sólidos secos deben humedecerse levemente antes de su disposición final. Otro medio de reducir el polvo consiste en el establecimiento de áreas verdes en las zonas terminadas. Especialmente en el caso de rellenos sanitarios cerca de áreas pobladas, se debe</p>

	<p>disponer de un camión cisterna o remolque para humedecer los caminos y las áreas de trabajo como un método de controlar el polvo.</p>
<p>Control de Vectores</p>	<p>Las moscas, mosquitos y roedores pueden estar presentes en los rellenos sanitarios. Estos y otros vectores pueden controlarse si se aplica frecuentemente una capa adecuada de tierra compactada sobre los residuos sólidos. Se ha demostrado que una cobertura diaria de 0.15 m de tierra compactada, con algún contenido de arcilla, prevendrá la aparición y la reproducción de moscas. Aún así, la operación del relleno sanitario debe incluir la inspección regular y un programa de control de moscas. Para controlar los mosquitos es necesario prevenir la acumulación de agua estancada mediante la nivelación del terreno y la cobertura de los residuos sólidos.</p> <p>Las llantas representan un riesgo de incendios y constituyen sitios de reproducción de mosquitos cuando se acumula agua en ellos. Por lo tanto, no se debe permitir el almacenamiento de neumáticos en los rellenos sanitarios. Además, como los neumáticos tienden a migrar hacia la superficie del relleno sanitario, deberían ser cortados o ubicados cuidadosamente lo más lejos posible de la superficie. Las ratas y los ratones pueden llegar al relleno sanitario junto con los residuos sólidos. Si se forman nidos de ratas en áreas adyacentes o en una porción descuidada del sitio, será necesaria la intervención del departamento de salud local para exterminarlas. Los empleados del relleno sanitario deben aprender a reconocer las madrigueras y otras señales que evidencien su presencia para tomar las medidas oportunas de control.</p>
<p>Control de Olores</p>	<p>Hay varias fuentes potenciales de mal olor en un relleno sanitario y pueden generarse en las siguientes situaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cuando los residuos sólidos se entregan y se colocan en el relleno sanitario.</li> <li>Cuando los residuos sólidos del relleno sanitario son perturbados (por ejemplo, por perforaciones o excavaciones).</li> <li>Cuando el lixiviado aparece en la superficie del relleno sanitario.</li> <li>En los estanques de almacenamiento y en el sistema de lixiviado.</li> </ul> <p>Los olores generados por los residuos sólidos generalmente pueden mitigarse rápidamente si se cubren los residuos sólidos y se asegura que la cobertura se mantenga intacta. Ocasionalmente, al relleno sanitario pueden llegar cargas con olores fuertes.</p> <p>La llegada de estos materiales debe programarse de manera tal que se disponga de recursos humanos y equipo suficiente para cubrir de inmediato los residuos sólidos. Si no es posible separarlos, las cargas malolientes pueden mezclarse o cubrirse con otros residuos sólidos para controlar el problema de emisión de olor. La cal o ciertos agentes químicos enmascaradores también pueden emplearse con diverso grado de eficacia para controlar los olores, dependiendo de las propiedades del material ofensivo.</p>

Control del Ruido	<p>Hay varias fuentes de ruido en los rellenos sanitarios, incluyendo los vehículos de recolección y el equipo de operación. El ruido suele ser similar al generado por cualquier actividad de construcción pesada y se limita al sitio y a las calles usadas para transportar los residuos sólidos al sitio de disposición final. Uno de los generadores de ruido más importantes son los motores, especialmente aquellos que no poseen silenciadores, y es particularmente significativo cuando el motor está con carga sustancial (por ejemplo, cuando realiza la descarga hidráulica o transita por una pendiente escarpada). Las áreas ruidosas deben ubicarse lejos de los receptores sensibles a ruidos. Para reducir el número total de individuos expuestos al ruido, deben realizarse todos los esfuerzos para que el acceso al sitio de disposición final se ubique en el área menos poblada. Además, el sitio puede estar aislado o rodeado de una zona de amortiguación para que el ruido no perturbe a nadie. La instalación de barreras auditivas adecuadamente diseñadas y construidas, como las bermas de tierra, paredes y árboles, pueden ser métodos eficaces para controlar los ruidos.</p>
Estética	<p>Para reducir el impacto ambiental y hacer que el relleno sanitario sea aceptado por el público, el diseño del sitio debe ser compatible con los alrededores. Durante la preparación de sitios de disposición final es importante dejar tantos árboles como sea posible para formar una barrera visual. Las bermas también pueden emplearse como barreras visuales. El uso de efectos arquitectónicos a la entrada al sitio, la limitación de la disposición final en áreas designadas, y un paisaje atractivo ayudarán a crear un ambiente agradable. Además, debe hacerse todo intento por minimizar el tamaño del frente de trabajo. El impacto visual negativo también disminuye si se controla la generación de polvo.</p>
Aves	<p>Las aves son atraídas por los rellenos sanitarios debido a la potencial fuente de alimentos. Las aves pueden plantear un grave riesgo a las aeronaves y crear una molestia al personal y a los vecinos de la instalación. Los criterios para la ubicación de los sitios de disposición final de residuos sólidos determinan que una instalación no debe estar ubicada dentro de un radio de 3.000 m de un aeropuerto activo que recibe turbo jets o dentro de una distancia de 1.500 m. de un aeropuerto activo usado por aeronaves a pistón. Varios dispositivos son usados para controlar la presencia de las aves en los sitios de disposición final de residuos sólidos; algunos de ellos (producción de ruidos, cuerdas de nylon o medidas similares) pueden proporcionar algún control temporal. Sin embargo, la cobertura rápida y completa de todos los residuos sólidos es la práctica de control más eficaz.</p>
Control del Esparcido de Residuos	<p>Una de las quejas más frecuentes de las personas que viven cerca de los sitios de disposición final de residuos sólidos es la presencia de residuos sólidos fuera del límite de la instalación de disposición final. La presencia de residuos sólidos puede reducirse sustancialmente mediante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● La descarga de los residuos sólidos en la base del frente de trabajo.</li> <li>● La cobertura frecuente y minuciosa del frente de trabajo y de las porciones</li> </ul>

Sólidos	<p>completadas de las celdas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La aplicación de agua o residuos sólidos húmedos a las cargas que contienen una concentración elevada de papel, de residuos sólidos secos y polvo.</li> </ul>
	<p>La instalación y el mantenimiento de una cerca portátil o estacionaria alrededor del frente de trabajo. La limpieza diaria, especialmente al finalizar la jornada de trabajo, puede limitar la cantidad de residuos sólidos que pueden esparcirse hacia las propiedades adyacentes y puede optimizar la recolección de los residuos sólidos desparramados porque la recolección dentro de un área limitada es más eficiente que la recolección en una zona amplia.</p>
Control de la Erosión y Sedimentación	<p>En cualquier etapa de la vida del relleno sanitario, grandes áreas de terreno que han sufrido alteraciones podrían estar expuestas a la intemperie. Por lo tanto, si no se aplican medidas de control adecuadas, podrían ocurrir problemas potenciales asociados con la erosión y la sedimentación. Incluso después del cierre del relleno sanitario, la erosión y el control de la sedimentación constituirán un requisito de mantenimiento a largo plazo.</p> <p>El control ambiental debe incluir la inspección periódica de la superficie del relleno sanitario y los sistemas de drenaje para verificar la erosión excesiva o la acumulación de sedimentos. Los sedimentos depositados en los canales deben extraerse rápidamente y las cuencas o trampas de sedimentación aguas abajo deben limpiarse periódicamente para mantener su nivel de rendimiento. Los canales naturales que reciben escorrentía del relleno sanitario deben controlarse con frecuencia y después de cada tormenta para observar los signos de la acumulación de sedimentos provenientes del relleno sanitario. De acuerdo a la situación, deben tomarse medidas para restaurar los cuerpos de agua o las zonas pantanosas afectadas</p>
Calidad de las Aguas Subterráneas	<p>El control de la calidad de las aguas subterráneas sirve para dos fines: 1) demostrar que el relleno sanitario no está causando un deterioro importante en el agua subterránea; 2) evaluar la magnitud (el grado de contaminación si la calidad de las aguas subterráneas se ha degradado). El control es particularmente necesario cuando el relleno sanitario está ubicado a una distancia de 1.500 m, medida horizontalmente, de cualquier cuerpo de agua subterránea que es fuente de agua potable o cuando está dentro de una distancia de 10 a 20 m, medida verticalmente, de tal fuente.</p> <p>Los pozos deben instalarse cuesta arriba y cuesta abajo del relleno sanitario y pueden construirse dentro de la sobrecarga o prolongarse hasta la roca sólida (Figura No. 8.8). Las aguas subterráneas también pueden examinarse a diferentes profundidades, según la estratigrafía. El tipo, número, colocación y profundidad de los pozos de control dependerán de la geología específica y del tamaño del sitio y debe formar parte de un plan de control de aguas subterráneas, desarrollado por un profesional capacitado. El muestreo y el examen de calidad de las aguas</p>

	<p>subterráneas deben realizarse a intervalos durante todo el año. Los períodos de muestreo deben adecuarse a las posibles variaciones de la calidad del agua relacionadas con las fluctuaciones estacionales en el nivel freático. Se recomienda que las muestras de aguas subterráneas se tomen y se analicen al menos dos veces al año.</p>
--	--

<p>Control de la Calidad de las Aguas Superficiales</p>	<p>Se debe hacer una inspección rutinaria de las aguas superficiales aguas abajo para observar signos de contaminación. Además de la acumulación de sedimentos, la degradación se evidencia en la muerte o enfermedad de la flora y de la fauna, flujo de lixiviado, color inusual del agua y olor extraño. Además de la inspección visual frecuente, las aguas superficiales deben controlarse cada vez que se toman muestras de los pozos de control de aguas subterráneas, analizándose como mínimo los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pH</li> <li>• Demanda Biológica de Oxígeno</li> <li>• Conductividad específica</li> <li>• Nitrógeno Kjeldahl Total</li> </ul> <p>Las muestras de agua superficial deben tomarse tanto aguas arriba como aguas abajo del lugar que evidencie el deterioro y cuya causa se atribuye al relleno sanitario. Si un tributario es una posible fuente de agua, también debe ser hacer un muestreo.</p>
---	--

<p>Control de la Calidad del Aire y Migración del Gas del Relleno Sanitario</p>	<p>La medición de la calidad del aire en los rellenos sanitarios no es una práctica usual. Sin embargo, los olores y la migración del gas (metano) son dos aspectos que requieren vigilancia como parte del funcionamiento de un relleno sanitario moderno. En su mayoría, los olores se pueden detectar por medio de los trabajadores del relleno sanitario y mediante las quejas de la población vecina. Si el olor se convierte en un problema continuo para las partes afectadas, debe ser resuelto haciéndose los ajustes apropiados en la operación del relleno sanitario. En caso extremo, los olores sólo pueden controlarse a través de un sistema activo de colección y tratamiento del gas del relleno sanitario. La migración del gas del relleno sanitario, por otro lado, requiere que se establezcan procedimientos específicos para su evaluación. La necesidad de vigilar la migración de gas deriva de su potencial y también para evitar que se acumule en las estructuras construidas dentro del sitio o fuera de él, en concentraciones que constituyen un riesgo para las personas o para la propiedad. A escala internacional se ha creado consenso en que las concentraciones del gas del relleno sanitario no pueden ser mayores que los siguientes límites:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100% del límite explosivo inferior (LEI) en el perímetro de la propiedad del relleno sanitario.</li> <li>• 25% del LEI en cualquier estructura construida dentro del relleno sanitario.</li> </ul> <p>El LEI es equivalente a una concentración de 5% de metano en el aire, y el valor</p>
---	---

5% es usado en los dos requisitos de migración de gas mencionados anteriormente. El LEI se mide a través de un indicador de gas combustible portátil de campo. Para vigilar y evaluar la migración de gas en el suelo, los pozos de detección de biogás (Figura No. 8.9) se instalan a lo largo del límite del sitio a diversos intervalos. El espacio entre los pozos dependerá de las circunstancias específicas del sitio. Cuando la migración del gas del relleno sanitario es una preocupación sustancial para las propiedades vecinas, una distancia máxima de 300 m. entre los pozos sería razonable en la mayoría de casos. En donde haya poco potencial o el riesgo de migración de gas es mínimo, los pozos pueden omitirse. Los pozos de detección de la migración de gas se instalan a una profundidad igual a la elevación más alta de nivel freático o a la elevación más baja del relleno sanitario, cualquiera sea mayor o a los suelos más permeables sobre el nivel freático.

## 6.5. Programas de Control y Seguimiento

El Monitoreo y Seguimiento están encaminados a realizar una observación continua en el tiempo y el espacio a las variables ambientales y sus indicadores, los cuales muestran y determinan el comportamiento y evolución de los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos de un sistema de disposición final de residuos sólidos y de su área de influencia. Este se concibe entonces como una herramienta indispensable para el aporte de información básica de interés ecológico, técnico, social, cultural y de gestión; será el instrumento que permita comprobar a la autoridad ambiental, a la comunidad y al propietario del proyecto el cumplimiento o no, de los estándares establecidos por las leyes nacionales ambientales y por las situaciones particulares del proyecto.

## 7) CLAUSURA DE RELLENOS

La clausura de un relleno sanitario implica la finalización o el cese de las operaciones para la disposición de residuos sólidos. En esta fase, ya no se acepta el ingreso de residuos sólidos al sitio y, en consecuencia, ellos deben ser dispuestos en otras instalaciones o manejados mediante otros métodos.

En términos simples, la clausura de un relleno sanitario se refiere al período de tiempo cuando la operación de relleno sanitario ha cesado, razón por la cual, dicho relleno se cubre con un material denominado cobertura final con el fin de darle seguridad a la estructura y eliminar focos de contaminación. El período de tiempo posterior al cese de operaciones de disposición y durante el cual el relleno sanitario se mantiene y se controla durante un lapso indefinido es denominado el período post-clausura. En la práctica, la clausura y post-clausura incluyen la realización de un número de actividades que se indicarán mas adelante.

La clausura y el cuidado que debe dársele a las estructuras y al lleno durante la post-clausura del relleno sanitario, son actividades importantes en el ciclo de vida de un relleno sanitario porque completan los requisitos para el manejo ambiental de la instalación de disposición final. En general, el cuidado post-clausura debe continuar hasta que los residuos sólidos se hayan estabilizado a un nivel tal que ya no constituyan un riesgo para la salud y la seguridad pública o para la calidad ambiental. La duración del cuidado post-clausura no se conoce con anterioridad y será específica para cada sitio de disposición final.

## 7.1. Procedimientos Operacionales

La clausura de cualquier relleno sanitario debe realizarse de acuerdo con un plan cuyo propósito es brindar orientación y procedimientos claros para que el relleno sanitario se cierre según las normas aplicables, se realice el control apropiado para el manejo del lixiviado, del gas producido durante la descomposición de los residuos en el relleno sanitario, del drenaje de aguas superficiales y se logre el uso final planificado y seguro para el sitio. La clausura del relleno sanitario requiere planificación y preparación. Es probable que se necesiten varios estudios antes de efectuar la clausura; el tiempo y el contenido de los mismos dependerán de las circunstancias específicas del sitio. Para la clausura de un relleno sanitario se recomienda seguir los procedimientos que a continuación se detallan.

### 7.1.1. Planeación

- Realización de estudios hidrogeológicos que describan la relación física entre el relleno sanitario y la hidrogeología del sitio y cualquier efecto observado en la calidad de las aguas subterráneas.
- Determinar la conformación final del sitio: comprende definir la topografía final del sitio que muestre los contornos acabados del relleno sanitario, el área colindante y las características planimétricas importantes, tales como cuerpos de agua, bosques, vías, caminos, asentamientos, edificaciones, linderos, entre otros.
- Diseño del sistema final de cobertura, incluyendo planos y especificaciones para los componentes del sistema y los detalles de la construcción.
- Identificación de las fuentes de donde se obtendrán los materiales de cobertura final, tales como arcilla o materiales sintéticos (de acuerdo al sitio).
- Diseño del paisaje final incluyendo las especificaciones y los detalles de construcción.
- Diseño del programa preparatorio de nivelación que describa los requisitos del contorno del relleno sanitario y la nivelación superficial para la posterior colocación de la cobertura final.
- Determinar el cierre por etapas de áreas específicas dentro del relleno: Describe el programa de operación que se aplicará durante las etapas activas y finales del relleno sanitario para lograr el cierre por etapas. En el caso de rellenos sanitarios pequeños donde el cierre es inmediato, este concepto no aplica.
- Diseño del programa de manejo y control de aguas superficiales, incluyendo el diseño de sistemas superficiales de drenaje y el control de la erosión y de la sedimentación.
- Diseño del programa de manejo y control de la contaminación de aguas subterráneas para la modificación del nivel freático natural y del flujo de las aguas subterráneas donde sea necesario mitigar los impactos adversos del relleno sanitario.

- Diseño del programa de manejo y control de lixiviado, requerido para los rellenos sanitarios revestidos y para los rellenos sanitarios no revestidos que necesitan descontaminar las aguas subterráneas.
- Diseño del programa de manejo y control del gas del relleno sanitario.
- Cálculo de costos para la construcción y la atención post-clausura (es decir, operación, mantenimiento y control a largo plazo).

### 7.1.2. Actividades de Preclausura

- Repaso y refinamiento del plan del cierre para la integridad del sistema de disposición final de residuos. Determinación de la fecha y hora de cierre.
- Notificar a la autoridad ambiental y entes reguladores del cierre del relleno.
- Establecer canales e instrumentos de notificación a los usuarios del relleno mediante comunicación escrita, si se permite el descargue privado de residuos es necesario notificar al público en general. De igual manera es necesario que la ciudadanía se entere del asunto.

### 7.1.3. Durante el Proceso de Cierre

- No permitir la entrada de vehículos para el descargue de residuos.
- Ubicar señales en la entrada del relleno anunciando el cierre y el nuevo sitio de o sistema de disposición final de residuos, indicarlo con avisos de seguridad.
- Recolectar cualquier tipo de residuos, basura, escombros dentro del área del relleno y disponerlo apropiadamente en celdas.
- Emplazar el material de cobertura sobre las celdas con residuos expuestos.

### 7.1.4. En el Post-cierre (Tres meses después del cierre)

- Se da un tiempo prudente, de unos tres meses, con el fin de terminar obras relacionadas con infraestructuras de manejo así:
- Completar el sistema de drenaje de aguas de escorrentía.
- Completar el sistema para el manejo y control del lixiviado y gases.
- Construir estructuras adicionales para el monitoreo de las aguas subterráneas.
- Instalar el sistema de instrumentación para determinar y monitorear los asentamientos, sobre presiones, deslizamientos y desplazamientos.
- Instalar la cobertura final de residuos.
- Establecer la cobertura vegetal y revegetación de la zona.

## 7.2. Uso final

Los rellenos sanitarios clausurados constituyen tanto un recurso potencial como una fuente potencial de problemas. Son un recurso potencial porque su superficie puede usarse en beneficio de la comunidad y es una fuente potencial de problemas por su contenido, así como por el riesgo de que los residuos sólidos

migren fuera del límite del relleno sanitario. Las limitaciones principales que los rellenos sanitarios clausurados traen al desarrollo de los sitios donde están ubicados son:

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

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