

# MODULO 03: GESTIÓN OPERATIVA

Guía para la Gerencia administrativa, técnica y social de la Gestión Integral de Residuos Sólidos



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Embajada de Suiza**

**Cooperación Suiza en Bolivia**

## **Créditos**

**Título:** Guía para la gerencia administrativa, técnica y social de la gestión integral de residuos sólidos – Modulo 03 gestión operativa.

**Autor:** Proyecto Gestión Ambiental Municipal.

**Elaboración:** Enzo Pacheco, consultor.

**Colaboración:** Graciela Suárez, ingeniera de proyectos en residuos sólidos, Aguatuya.

**Revisión:** Lourdes Valenzuela, directora de comunicación Aguatuya.

**Revisión gramatical:** Carla Hannover, consultora.

**Diseño y diagramación:** Andrea Iturry, consultora.

Año: 2021

## **Contacto**

C. Nicolás Ortiz Pacheco N. 33 edificio TESAI, primer piso,  
oficina 1B - entre c. Antonio Salinas y av. Calampampa.

Tel.: (591) 4 4242164

info@aguatuya.org

[www.aguatuya.org](http://www.aguatuya.org)

[Facebook.com/Aguatuya](https://www.facebook.com/Aguatuya)

### **Primera edición.**

Queda permitida la reproducción del presente documento siempre que se cite la fuente.

**Cochabamba - Bolivia**

# GESTIÓN OPERATIVA

El presente módulo está dirigido principalmente a todo el personal municipal que tiene la responsabilidad de la gestión integral de los residuos sólidos en la fase de la planeación operativa, proporcionando criterios técnicos y metodologías para el diseño del servicio de aseo urbano.

## 1. ¿Qué es la GESTIÓN OPERATIVA?

La gestión operativa es un modelo de gestión compuesto por todas las actividades y tareas enfocadas a la mejora permanente de los servicios de aseo urbano. Tiene el propósito de cumplir tanto los objetivos estratégicos como los objetivos operativos.

Las metas más relevantes de la gestión operativa son las siguientes:

- Garantizar la calidad del servicio a toda la población.
- Prestar eficaz y eficientemente el servicio de forma continua.
- Conseguir ventajas en términos económicos (reducción de costos) del servicio al ir ampliando el nivel de cobertura y expansión del mismo (economía de escala).
- Minimizar y mitigar los impactos ambientales negativos al medio ambiente y a la salud pública en la prestación del mismo.
- Establecer mecanismos que garanticen a los usuarios (habitantes del municipio) el acceso al servicio y su participación en la gestión y fiscalización del mismo.

*Planificación de la gestión integral de residuos sólidos*



Un servicio de aseo implica un alto costo por sus necesidades de contar con una importante cantidad de personal, equipos y maquinarias especializadas de alto costo, elementos de protección personal de provisión permanente, crecimiento de la mancha urbana que requiere

atención, y disposición final de los residuos recolectados cuidando la salud y el medio ambiente.

Las etapas que comprende un servicio integral de aseo urbano se muestran en el siguiente gráfico y serán empleadas como referencia para el desarrollo de cada una de ellas.



Modelo de Gestión Operativa GIRS

## 2. Clasificación de los residuos sólidos por sus CARACTERÍSTICAS

- Residuos No Peligrosos, se subdividen en:
  - Residuos Orgánicos: generados principalmente en el consumo de alimentos, jardinería, poda de plantas y mercados. Tienen la característica principal de que se descomponen por la acción natural de organismos vivos como lombrices, bacterias y hongos principalmente.
  - Residuos Reciclables: todos los que pueden ser aprovechados como materia prima en procesos de fabricación.
  - Residuos No Aprovechables: todos los residuos que no pueden ser reutilizados, reciclados o tratados biológicamente.
- Residuos Especiales: Son aquellos que por sus características de volumen y composición requieren de un tipo de recolección especial y de un tratamiento distinto.
- Residuos Peligrosos: Son aquellos que conllevan riesgo potencial al ser humano o al medioambiente por ser corrosivos, explosivos, inflamables, patógenos, radiactivos, reactivos o tóxicos, incluyendo sus envases.

### 3. Clasificación de los residuos sólidos por la fuente de GENERACIÓN

- Residuos Municipales: Son aquellos que se generan en las viviendas, parques, jardines, vías públicas, oficinas, mercados, comercios, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control. Se subdividen en:
  - Residuos Domiciliarios, que son generados en los hogares y son adecuados para ser recogidos por los servicios municipales convencionales.
  - Residuos Comerciales, que son generados por la actividad propia del comercio, oficinas y mercados, así como del resto del sector servicios.
  - Residuos Institucionales, que son generados en oficinas, unidades educativas, universidades, centros culturales, etc.
  - Residuos de la Vía Pública, que son aquellos que se depositan y recolectan de la vía pública y están constituidos por papel, tierra, arena, madera, plástico, hojas, colillas de cigarro, estiércol, piedras, y animales muertos, entre otros.
- Residuos Industriales, que son los que se generan en actividades productivas, cualquiera sea su grado de peligrosidad.

### 4. ALMACENAMIENTO

Es la etapa de la gestión operativa en la que los residuos son depositados en un recipiente de forma temporal hasta su entrega al servicio de recolección para su posterior tratamiento o disposición final.

Esta actividad es responsabilidad exclusiva del generador, y debido a que los residuos no se pueden eliminar de inmediato, se requiere de un depósito y un lugar adecuados para mantenerlos mientras se espera que sean recolectados.

A nivel nacional los tipos de almacenamiento existentes son:

#### 4.1. Almacenamiento primario

Es el que se realiza dentro de los domicilios, centros comerciales, mercados, instituciones públicas y privadas, unidades educativas e industrias.

Los recipientes (basureros) de almacenamiento primario tienen que cumplir las siguientes características mínimas:

- Peso y estructura que faciliten su manejo hasta el sitio de almacenamiento secundario o hasta la entrega al servicio de recolección. Deben tener una capacidad máxima de almacenamiento que no supere los 25 Kg o los 60 Litros.
- Fabricados en material impermeable, de fácil limpieza y mantenimiento y resistentes a la corrosión, preferiblemente de material sintético, caucho, metal o materiales compuestos.
- Dotados de tapa con ajuste y sello, de fácil apertura y que no dificulte el proceso de vaciado durante la recolección.
- Diseñados y contruidos de modo que, al estar tapados, no permitan la entrada



Contenedores para la separación de residuos y desechos

También pueden usarse bolsas desechables, las cuales deben de cumplir las siguientes condiciones:

- Ser resistentes para su manipulación.
- El usuario deberá presentarlas cerradas con nudo.

Respecto al almacenamiento primario de los residuos peligrosos, ya sean domiciliarios, comerciales, institucionales, etc., éstos deben ser almacenados en recipientes diferentes para cada tipo de residuo peligroso, de acuerdo a lo siguiente:

- Recipientes para pilas, y aparatos eléctricos y electrónicos.
- Recipiente para lámparas fluorescentes.
- Recipiente cerrado para productos químicos como aerosoles inflamables, solventes, pinturas, plaguicidas, fertilizantes, aceites y lubricantes usados, baterías de automotores.
- Recipiente cerrado para medicamentos vencidos.
- Recipiente cerrado para residuos bioinfecciosos.

Estos recipientes deben estar ubicados en lugares aislados de la humedad y de la radiación solar, fuentes de energía eléctrica o de distribución de gas domiciliario.

de agua, insectos o roedores, ni la salida de líquidos.

- Con bordes redondeados y de mayor área en la parte superior, de modo que se facilite el vaciado.
- Capacidad mínima de almacenamiento equivalente a una semana.
- Deben ser lavables para que el usuario los mantenga en condiciones sanitarias adecuadas que eviten la generación de olores y vectores al interior de las viviendas.



Operador de servicio recogiendo una bolsa de reciclables



Almacenamiento seguro de pilas

## 4.2. Almacenamiento secundario

Se entiende como la etapa de acumulación de residuos sólidos fuera de los predios de las fuentes generadoras, ya sean domiciliarias o institucionales, en contenedores provistos y colocados por la Unidad de Aseo Urbano responsable del servicio.

Para el uso eficiente de este medio, se requiere de una reglamentación que permita un trabajo higiénico y seguro de recolección.

La ventaja principal de este método es la comodidad que se le brinda al usuario, que puede

dejar sus residuos sólidos a cualquier hora del día. La desventaja es la falta de educación por parte del usuario.

Por su parte, el almacenamiento en condominios, grandes generadores, industrias y mercados deben cumplir las normas exigidas por el servicio de aseo en cuanto a ubicación, accesibilidad, ventilación, iluminación, materiales constructivos de los contenedores, señalización, dispositivos de seguridad antiincendios y respetar horarios de recolección.

*Poligrúa con contenedor de reciclables*



## 5. SEPARACIÓN DE RESIDUOS EN EL ORIGEN

En caso de que un Gobierno Autónomo Municipal (GAM) determine, con base a estudios previos, que es viable y sostenible el proceso de aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos, deberá definir los tipos de materiales que serán objeto de reutilización o reciclaje, y divulgarán las especificaciones y requisitos sobre su almacenamiento.

El GAM deberá evaluar que cuenta con los recursos logísticos y financieros necesarios para implementar procesos de aprovechamiento mediante recolección diferenciada.

Para el funcionamiento de este servicio, es necesario contar con la participación de la ciudadanía mediante la separación de residuos en el origen o fuente.

El objetivo de la separación en la fuente, es que los diferentes generadores, domiciliarios o institu-

cionales, realicen el almacenamiento primario de sus residuos aprovechables en recipientes especialmente destinados a este fin, independientes de los residuos que serán transportados directamente a la disposición final.

Para la separación en origen por los generadores domiciliarios, comerciales, institucionales o industriales, se deberán emplear tres recipientes con los siguientes denominativos y colores, acorde a la Norma Boliviana.

- Residuos sólidos inorgánicos reciclables en recipientes de color amarillo.
- Residuos sólidos orgánicos biodegradables en recipientes de color verde.
- Residuos sólidos no aprovechables en recipientes de color negro.

## SEPARACIÓN DE RESIDUOS EN TRES FRACCIONES

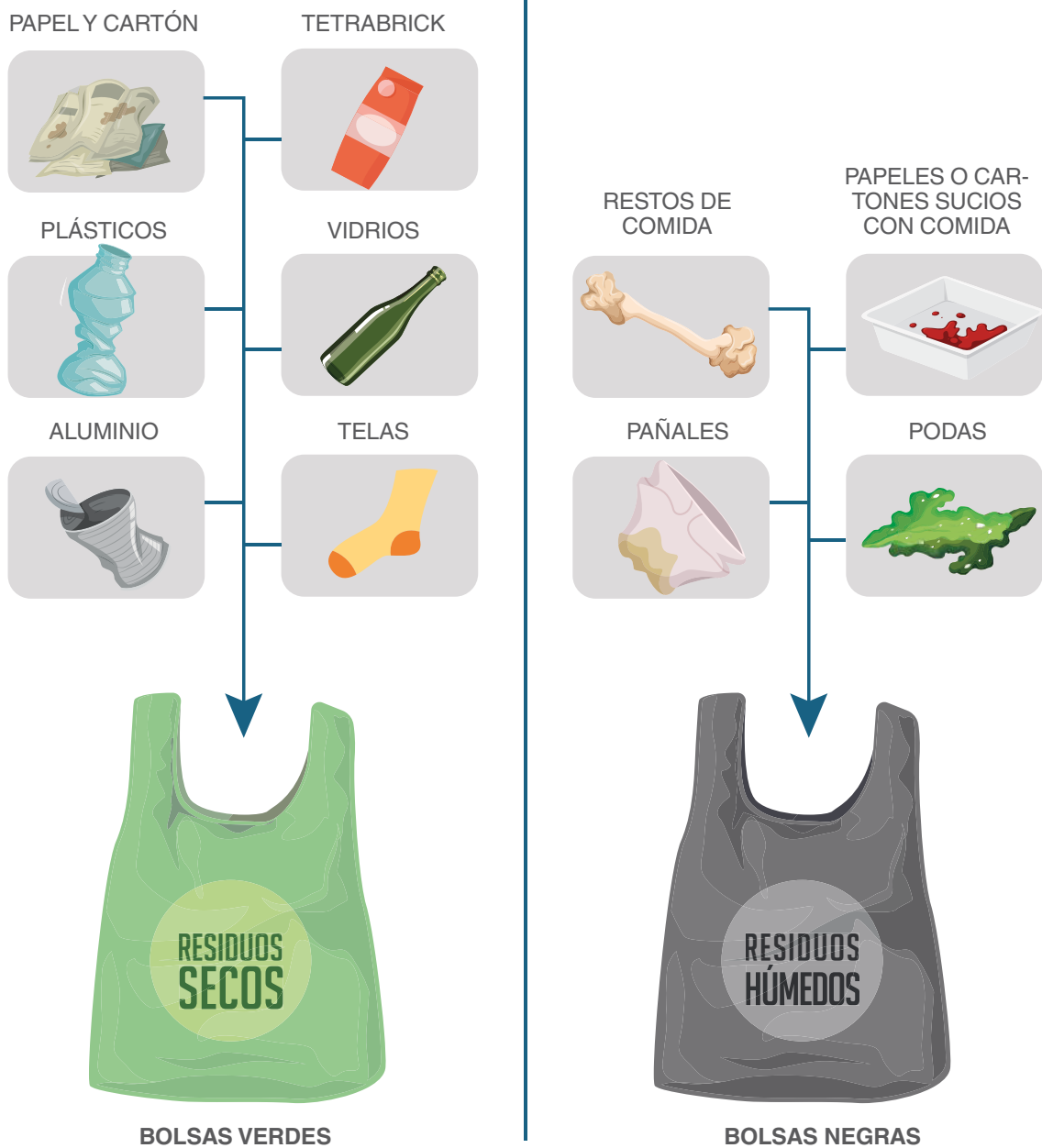


Separación de residuos de acuerdo a las fracciones orgánicos, reciclables y desechos



Otra alternativa de separación en fuente, y que ayuda a la posterior labor de recuperación, o en caso de no contar con recolección diferenciada, es el empleo de dos bolsas diferentes para residuos secos y húmedos:

## SEGÚN EL COLOR PARA LA RECOLECCIÓN DIFERENCIADA



## 6. BARRIDO Y LIMPIEZA

El objetivo del barrido y limpieza de un municipio por parte de la Unidad de Aseo Urbano es:

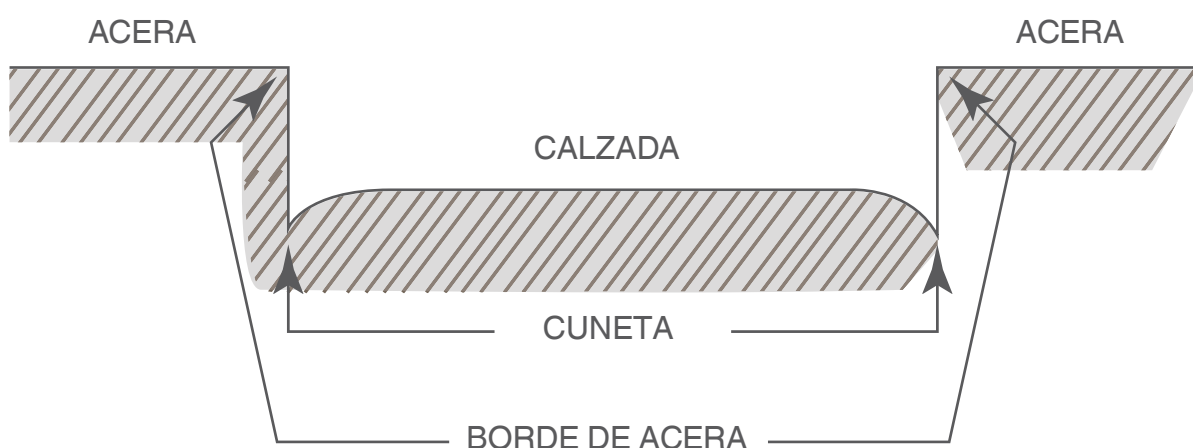
- Minimizar riesgos a la salud pública, ya que los excrementos y los desperdicios orgánicos propician las condiciones para el desarrollo de vectores (moscas, mosquitos y roedores), los cuales son transmisores de diversas enfermedades.
- Reducir el polvo que afecta los ojos, garganta, vías respiratorias y ocasiona también molestias de tipo alérgico.
- Prevenir inundaciones y desbordamientos de ríos y curso de aguas, ya que la acumulación de residuos sólidos puede obstruir el alcantarillado y el drenaje del agua pluvial.
- Mantener limpia la ciudad, ya que a nadie le gusta vivir en un municipio con basura en las vías públicas y áreas verdes, y porque presenta un aspecto visualmente no agradable.

### 6.1. Principales métodos de barrido y limpieza

Las principales actividades son el barrido de vías, limpieza de áreas públicas, limpieza de boca tormentas, deshierbe, y otros servicios de limpieza especial.

**a. Barrido de vías**, es la actividad de recolección, manual o mecánica, de residuos sólidos depositados en la vía pública por parte del personal destinado a este servicio.

El barrido se realiza en todas las vías pavimentadas (pavimento rígido, flexible, articulado y otros) en calles y avenidas, las que deben quedar libres de papeles, hojas, plásticos, vidrios y otros residuos sólidos callejeros. El barrido en las vías de circulación vehicular y de peatones (aceras) debe de efectuarse a todo lo largo de las cunetas y de un ancho de 0,6 a 1 m.



El barrido de las aceras normalmente debería ser responsabilidad de los vecinos, salvo costumbres permitidas por las autoridades municipales.

Las zonas a ser barridas, los horarios y frecuencias más comunes son los siguientes:

ZONAS DE BARRIDO	HORARIOS	FRECUENCIAS
Zonas comerciales, con alto tráfico peatonal y vehicular, plazas, parques.	Horario nocturno para barrido primario, y horario diurno para barrido de mantenimiento	6 o 7 veces por semana
Zonas de carácter residencial densamente pobladas.	Horario nocturno	6 o 7 veces por semana
Zonas residenciales.	Horario nocturno	
Ferías, torrenteras y áridos	Horario diurno	

Los rendimientos recomendables para el personal de barrido, según detalla la OPS<sup>1</sup> a nivel Latinoamérica, se muestran en el cuadro siguiente:

<sup>1</sup> Fuente: INDICADORES PARA EL GERENCIAMIENTO DEL SERVICIO DE LIMPIEZA PÚBLICA  
Ing. Fernando A. Paraguassú de Sá; Ing. Carmen Rocío Rojas Rodríguez / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS / Organización Panamericana de la Salud, OPS, Organización Mundial de la Salud, OMS.

INDICADOR	VALOR	PARÁMETROS
Población total (número de habitantes) /Cantidad total de barredores	2.000 a 2.500 hab/barredor 0,5 – 0,4 Barredor/1 000 habitantes	(Rendimiento de 1,3 km/barredor/día, 2 turnos/día, frecuencia: 60% diario y 40% interdiario).
Longitud total de calles barridas: Km lineales barridos /barredor/día (calles)	1,3 a 1,5 km lineales/barredor/día (acera + cuneta, pistas pavimentadas)	Este índice permite conocer el rendimiento promedio diario de un trabajador en km lineales. Considera de manera implícita el tipo de servicio ejecutado (acera
Áreas barridas de parque, plazas y otras: m2 barridos/barredor/día (plazas)	2.500 a 3.500 m2/barredor/día	Área total de plazas barridas al mes (m2

Para la determinación del número de barrenderos necesarios, se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Nro de Barrenderos} = \frac{\text{Longitud total de vías (Km)} \times \text{frecuencia de barrido a la semana}}{\text{Rendimiento promedio de barrido (Km/día)}}$$

## BARIDO



Barrido en Tolata



Barrido en Arbieta



Barrido en Cliza

**b. Limpieza de vías de tierra**, que consiste en el recojo de papeles, plásticos, vidrios y otros residuos sólidos que se encuentren dispersos en todo el ancho de las vías que no cuentan con algún tipo de pavimento.

Este servicio normalmente es realizado en horario diurno, tiene una frecuencia que varía entre 1 a 3 veces por semana y el rendimiento de los barrenderos es de un 20% menor que en vías pavimentadas.

**c. Limpieza de áreas públicas**, que comprende el barrido, lavado y desinfección de plazas, mercados, ferias, parques, etc., normalmente mediante campañas especiales programadas periódicamente.

Este servicio normalmente es realizado en horario diurno, tiene una frecuencia que varía entre 1 a 2 veces por semana y el rendimiento de los barrenderos es de un 50% menor que en vías pavimentadas.

**d. Limpieza de bocas de tormenta**, es una actividad que debe realizarse regularmente y tiene por objetivo garantizar la fluidez del agua de pluvial y evitar que la basura ingrese dentro del desagüe pluvial, provocando taponamientos y desbordes.

**e. Deshierbe**, que consiste en el desbrozado y cortado de hierbas y malezas que puedan crecer no sólo en las calles y aceras sin asfalto, sino también en las orillas de ríos y canales.

**f. Otros servicios de limpieza especial**, como limpieza de monumentos, torrenteras, canales, limpieza de áridos, limpieza de micro basurales, y combate de vectores.

## 6.2. Elementos de protección personal y herramientas

Las herramientas que se deben utilizar a nivel nacional para el barrido manual son básicamente: escoba de paja (escoba de charro), escobillón, escoba, cepillos para barrer, carrito de mano (ya sea manual o a pedal), recogedor, rastrillo, azadón, barreta, machete, horquetas, y pala en algunas ocasiones, además de rasquetas

o lanceta para la limpieza en vías de tierra.

La frecuencia de dotación de elementos de protección para el personal de barrido, y de las herramientas básicas recomendada es la siguiente:

Elementos de protección personal	Cantidad
Overol	2 por año
Guantes de seguridad	2 por año
Chaleco reflexivo	1 por año
Sombrero o cachucha	1 por año
Barbijos	1 por día
Impermeable o saco de lluvia	1 por año
Botas de agua	1 por año
Faja	1 por año
Botas de cuero antideslizantes	1 por año
Herramientas	Cantidad
Escobas de mano	8 por mes
Cepillos	1 por mes
Rastrillos	1 por año
Levantadores	1 por mes
Carritos	1 por año
Bolsas plásticas de 50 kg.	7 bolsas por km por barrido



# 7. RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE

La recolección de los residuos sólidos es uno de los componentes más costosos y fundamentales del servicio de aseo urbano. Representa entre un 50% a 70% del costo total del servicio y tiene por objeto el recojo de la basura para transportarla al sitio de transferencia, de aprovechamiento y/o disposición final.

Un servicio de recolección y transporte de residuos sólidos será eficiente cuando cumpla con los siguientes objetivos:

- Atender a toda la población en forma sanitaria.
- Prestar el servicio con regularidad, es decir que los vehículos recolectores deben pasar regularmente por los mismos sitios, días y horarios.
- Aprovechar toda la capacidad de los vehículos recolectores (no debe haber viajes con carga incompleta).
- Minimizar los recorridos improductivos, es decir que haya recorridos sin estar recogiendo basura, o que el vehículo pase varias veces por la misma calle.
- Contar con vehículos de reserva para efectuar mantenimiento preventivo y poder cumplir con los programas previstos.

## 7.1. Métodos de recolección

Los métodos de recolección utilizados a nivel nacional se clasifican en:

### a. Recolección por acera

En este método, el personal del vehículo recolector recoge los recipientes con residuos sólidos que fueron colocados por los usuarios sobre la acera. Éstos son trasladados hacia el vehículo recolector donde el personal vacía el contenido dentro de la sección de carga de dicho vehículo. Los recipientes son regresados posteriormente al sitio de la acera donde los usuarios los dejaron, para que éstos los introduzcan ya vacíos a sus domicilios.

La cuadrilla del vehículo debe estar integrada por un chofer y dos o tres ayudantes y el vehículo debe transitar a baja velocidad para lograr el recojo en ambos lados de la calle.

Este método presenta el inconveniente de que los animales vagabundos pueden romper las bolsas dejadas por los vecinos y dispersarla, ocasionando como resultado que la recolección se lleve a cabo en forma más lenta.

Recolección de residuos en Tolata



## b. Recolección por esquina

Este es el método más económico de recolección y consiste en recoger los residuos en las esquinas de las calles, donde por medio de una campana u otro sonido característico se comunica la llegada del vehículo para que los usuarios acudan a entregar sus residuos.

Este método de recolección requiere una alta participación por parte de los usuarios, por lo cual deben esperar a una determinada hora y lugar con sus residuos sólidos para entregarlos al vehículo recolector.

## c. Recolección por contenedores

La recolección por contenedores requiere el empleo de camiones especiales y que los contenedores estén ubicados en espacios accesibles al vehículo recolector. Es un método ideal para centros de gran generación de residuos como centros comerciales, mercados, hospitales, industrias, edificios multifamiliares, etc.

Este método exige que la recolección se realice con frecuencias regulares, ya que de lo contrario puede ocasionar focos de contaminación por el exceso de basura depositada o por los malos hábitos de los usuarios que depositan la basura fuera de los contenedores.

## d. Ventajas y desventajas de los métodos de recolección

Para la elección del método de recolección que mejor se adapta a un municipio, debe tomarse en cuenta que normalmente se emplea una combinación de diferentes procedimientos. La decisión dependerá de las zonas a ser atendidas, las costumbres y el nivel de educación y participación de la población, los costos implicados y la supervisión requerida.

En el cuadro siguiente se muestran las ventajas y desventajas de los métodos de recolección más utilizados en nuestro país, como ayuda a la elección del que será utilizado:



Recolección de residuos en Arbieta

Método de Acera		Método de Esquina		Método de Contenedores	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más práctico para el usuario</li> <li>• Recomendado para áreas residenciales</li> <li>• Recomendado para recolección diferenciada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más costoso por tonelada de recolección.</li> <li>• Demanda continua por el usuario si ya se tiene implementado este método.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos costoso por tonelada recolectada.</li> <li>• Recomendado para áreas residenciales no accesibles.</li> <li>• Requiere una participación alta del usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos práctico para el usuario.</li> <li>• Genera inconformidad por el servicio por parte del usuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más práctico para el usuario</li> <li>• Recomendado para centros de gran generación (mercados, centros comerciales, hospitales, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más costoso por tonelada de recolección.</li> <li>• Requiere una participación moderada del usuario.</li> <li>• Requiere más control del usuario por parte del SAU para verificar que hagan un correcto uso de los contenedores.</li> </ul>

Adicionalmente debe tomarse en cuenta que, en caso de realizar la recolección diferenciada en el método de acera (puerta a puerta) se logra una efectividad de más del 80%.

En cambio, si se realiza mediante contenedores, la efectividad de la separación baja a un 30%.

## 7.2. Tipos de vehículos de recolección para recolección convencional

Los tipos de vehículos especializados para recolección convencional más utilizados son los siguientes:

### a. Camión recolector con caja compactadora

Estos vehículos están equipados con una caja compactadora que dispone de una tolva para la carga (ya sea lateral o trasera) de los residuos y un dispositivo de compresión que permite reducir entre tres y cinco veces el volumen de los mismos.

La caja compactadora de 10 a 20 m<sup>3</sup> de capacidad, suele estar construida con chapas de acero especial de alta resistencia a la abrasión y a la corrosión. Esta, además, reforzada con vigas y tirantes de acero de gran resistencia y montada sobre un basti-

Camión recolector sin compactación





dor de soporte sumamente sólido.

El vaciado de la caja compactadora se realiza generalmente mediante una placa de expulsión accionada por un circuito hidráulico.

### **b. Camión recolector con/sin caja cerrada sin compactación**

Las características técnicas de la caja son similares a las anteriores en lo referente a corrosión y estanqueidad. Pero, no disponen de mecanismo compactador por lo que su capacidad de carga es más reducida.

Suelen utilizarse en municipios con poca generación de residuos, mientras que en municipios mayores se emplean para la recolección de restos de arbolado y residuos de la limpieza de la vía pública.



*Camión recolector con caja compactadora*

### **c. Camión Compactador vacía contenedor**

Estos vehículos son generalmente de 12 a 30 m<sup>3</sup> de capacidad volumétrica, con mecanismo de carga y de descarga de contenedores (trasera, frontal y lateral), cuya capacidad varía desde uno hasta seis metros cúbicos.

### **d. Camión para contenedores de gran capacidad**

Son camiones donde la variante radica casi exclusivamente en cuanto al mecanismo empleado para la carga y descarga de contenedores con capacidad normalmente alta (desde 6 hasta 22m<sup>3</sup>).

A nivel nacional estos camiones denominados "Roll On, Roll Off" se encuentran equipados con elevadores tipo "cadenas", para poder levantar y depositar los grandes contenedores sobre el chasis del camión para su posterior transporte, acorde a la siguiente figura:



*Camión recolector con caja compactadora*



Recolección en camión no convencional

### 7.3. Tipos de vehículos de recolección para recolección no convencional

Por otra parte, para la recolección no convencional se emplean los camiones tipo volquetes (con carrocerías de volteo), los cuales no son adecuados para la recolección y transporte de los residuos sólidos municipales desde el punto de vista de salud pública. Esto se debe principalmente a que por el hecho de ser descubiertas pueden esparcir la basura durante el recorrido si no se emplean lonas de cubierta.

Tienen además la desventaja que su altura de carga es muy elevada, por lo que se requiere un ayudante adicional que reciba y acomode las bolsas de basura recibidas.

Por último, en municipios pequeños donde la cantidad de residuos recolectados no justifica la utilización de equipos grandes, o en el caso de tener poco presupuesto, se utilizan los denominados motocarros o contenedores jalados por tractores agrícolas.

### 7.4. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de vehículos de recolección

A continuación, se muestran algunas ventajas y desventajas de los tipos de vehículos disponibles en el mercado:

Camión recolector con caja compactadora (ya sea trasera, lateral)		Camión recolector con caja cerrada sin compactación		Camión para contenedores de gran capacidad		Camión de caja abierta (volquetes)	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
<p>Compactación de hasta:550 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Disponibilidad de distintas capacidades de la tolva, desde 12 hasta 24 m<sup>3</sup>.</p> <p>Mejores condiciones higiénicas y de seguridad</p>	<p>Mayor costo que cualquier alternativa.</p> <p>Alto costo de mantenimiento.</p> <p>Recomendable solo para vías asfaltadas</p>	<p>Menores costos de inversión y mantenimiento.</p> <p>Los residuos no están descubiertos.</p>	<p>Sin compactación.</p>	<p>Pueden transportar contenedores de hasta 30 m<sup>3</sup> de capacidad.</p>	<p>Altos costos de mantenimiento.</p> <p>Se requieren espacios amplios para maniobras de carga y descarga</p>	<p>Costo mas bajo de inversión.</p> <p>Mayor versatilidad para poder recoger residuos voluminosos.</p> <p>Apto para cualquier tipo de vías</p>	<p>Sin compactación.</p> <p>Los residuos están descubiertos.</p>

## 7.4. Recolección de residuos bioinfecciosos

En lo que corresponde a la recolección de los residuos bioinfecciosos de los centros de salud, este trabajo debe ser realizado de forma diferenciada, evitando la contaminación de los residuos comunes y cuidando el manejo de los residuos contaminantes para evitar riesgos a la salud pública.

El personal asignado a este tipo de recolección y transporte debe trabajar con guantes y botas. Debe, además, estar vacunado (contra la hepatitis y el tétanos) y someterse a exámenes médicos periódicos.

Este servicio tomó características de necesidad y seguridad especiales debido a la pandemia suscitada por el COVID 19, que exige dotar a los trabajadores del servicio de aseo de indu-

mentarias especiales y biosanitarias. Además, requiere del empleo de vehículos con rutas especiales y limpieza y desinfección regulares.



Motocarro para bioinfecciosos

## 7.5. Frecuencias y tipo de servicios

Las frecuencias recomendables para los servicios de recolección se definen inicialmente en función de las zonas a ser atendidas. También se debe considerar el tipo de servicio a ser prestado, tal como se muestra en el cuadro siguiente:

Frecuencia	Zonas de Atención	Tipo de Servicio
Diaria	Zonas de concentración de actividades comerciales y/o institucionales	Recolección de acera y/o contenedores
2 a 3 veces por semana	Zonas residenciales densamente pobladas	Recolección de acera o esquina.
1 vez por semana	Zonas residenciales de baja densidad poblacional	Recolección de esquina

## 7.6. Determinación del número de vehículos necesarios

Para la determinación del número de vehículos de recolección necesarios se empleará la siguiente fórmula:

$$N_v = \frac{G \times P \times 7 \times Fr \times K}{N \times C \times (7/dh)}$$

Donde:

Nv = Número de vehículos necesarios

G = Generación de residuos sólidos (PPC en Kg/hab\*día)

P = Población total del municipio o población del o los barrios a ser considerados

N = Número de viajes por día (igual a 2 normalmente)

C = Capacidad del vehículo en Kg.

7 = Días de la semana, se asume la generación diaria de los residuos sólidos

Fr = Factor de reserva 1,07 a 1,20 según el estado y edad de la cuadrilla de recolección.

K = Factor de cobertura, 1 en sectores céntricos, menor a 1 a medida que se aleja del centro

## 7.7. Rendimientos de recolección

Considerando como rendimiento la cantidad de viviendas o la cantidad de habitantes servidos que pueden ser atendidos por un vehículo, éste puede estimarse con la fórmula siguiente:

$$U = \frac{N \times C \times F}{H \times G}$$

Donde:

U = cantidad de viviendas o habitantes servidos por vehículo en una jornada de trabajo

N = Número de viajes que puede realizar el vehículo por día (normalmente 2)

C = Capacidad del vehículo en Kg.

F = Frecuencia de recolección.

Hc = Número promedio de habitantes por vivienda.

G = Generación de residuos sólidos (PPC en Kg/hab\*día)

El rendimiento óptimo de recolección por método de recolección, de acera o de esquina, es el siguiente:

Método de recolección	Rendimiento aceptable	Valor óptimo
Método de acera (puerta a puerta) con 3 ayudantes	2,3 a 2,6 ton/hora	2,45 ton/hora
Método de esquina con 3 ayudantes	2,8 a 3,2 ton/hora	3,0 ton/hora

## 7.8. Elementos de protección personal y herramientas

Los elementos de protección personal y la frecuencia de dotación para el personal de recolección y transporte de residuos, además de las herramientas recomendadas es la siguiente:

Elementos de protección personal	Cantidad
Overol	2 por año
Guantes de seguridad	2 por año
Chaleco reflexivo	1 por año
Sombrero o cachucha	1 por año

Elementos de protección personal	Cantidad
Barbijos	1 por día
Impermeable o saco de lluvia	1 por año
Botas de agua	1 por año
Faja	1 por año
Botas de cuero antideslizantes	1 por año
Herramientas	Cantidad
Orcas	1 por años
Cepillos	1 por mes
Palas	2 por año
Lonas para levantar basura	4 por año

## 8. Recolección diferenciada

Este tipo de recolección puede realizarse de las siguientes maneras:

### a. Recolección en un solo vehículo acondicionado especialmente

Este tipo de vehículo de recolección tiene compartimientos separados para los residuos reciclables y para los no aprovechables, pudiendo tener otro destinado a los residuos orgánicos, recolectándose todos los residuos al mismo tiempo.

### b. Recolección con dos o más vehículos

En caso de no contar con los vehículos especiales, se programarán las actividades de recolección con tres vehículos, de manera que un vehículo recolecte los residuos no aprovechables, otro los reciclables, y un tercero los orgánicos.



Recolección diferenciada con un solo vehículo



Recolección diferenciada con un solo vehículo

Recolección diferenciada con un solo vehículo



Dos motocarros para recolección diferenciada de orgánicos y reciclables



*Acopio de materiales reciclables en Feria del trueque ambiental*

En caso de contar con solo uno o dos vehículos de recolección, el servicio será programado de manera que la recolección pueda realizarse el mismo día, o alternando frecuencias para recoger un día no aprovechables y otro día residuos orgánicos.

### c. Recolección mediante centros de acopio

Para el funcionamiento de este método, se requiere la participación activa y ordenada de los usuarios, los cuales llevan residuos exclusivamente reciclables a centros de acopio (puntos verdes) distribuidos estratégicamente en el municipio para facilitar la entrega por los usuarios. Posteriormente, los reciclables son recogidos periódicamente por los vehículos del servicio de aseo.

## Aspectos a tomar en cuenta para la Recolección Diferenciada

- A nivel nacional los residuos reciclables representan un porcentaje entre el 18 y el 23% del total generado.
- Los residuos sólidos no aprovechables representan entre un 22 a 29% del total de la basura.
- La materia orgánica en los residuos sólidos a nivel nacional representa en los municipios Mayores e Intermediarios más del 50% y en los municipios menores algo menos del 50%. La materia orgánica que puede retirarse para compostar es de un 20 a un 40%.
- La calidad de los residuos sólidos reciclables varía según el estrato socioeconómico.
- Mientras más se logre la colaboración de la ciudadanía mediante campañas de promoción y capacitación en la separación de los residuos menor será el costo de implementar la recolección diferenciada.
- Mientras más se logre integrar y organizar a los recuperadores informales en la recolección, menos será también el costo de la recolección diferenciada.

Otra alternativa para la recolección selectiva, contando con reducido número de vehículos, condiciona que los generadores cuenten con varios contenedores o tachos de almacenamiento, y que, si se utiliza el mismo equipo de recolección, es recomendable que se realice un lavado diario.

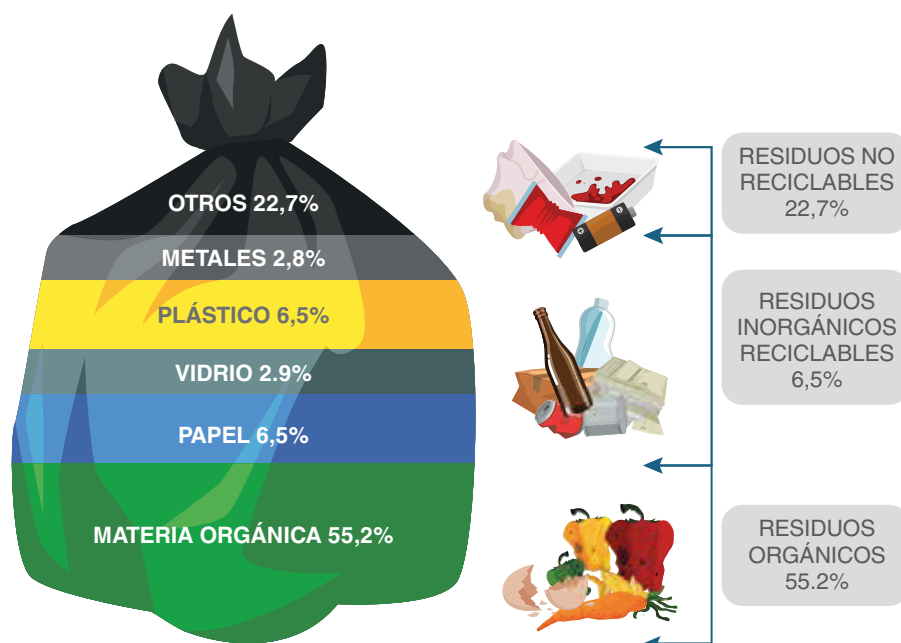
Una propuesta de programación en estos casos es la siguiente:

TIPO DE SERVICIO	TIPO DE RESIDUOS	FRECUENCIA (DÍAS/SEMANA)	DÍAS SEMANA
Recolección diferenciada con 3 tachos (domiciliarios)	Recolección orgánicos	3	Lunes, miércoles y viernes
	Recolección reciclables	2	Martes y sábado
	Recolección resto	1	Jueves
Recolección diferenciada con 2 tachos (domiciliarios)	Recolección reciclables	2	Martes y sábado
	Recolección resto - orgánicos	3	Lunes, miércoles y viernes
Recolección común con 1 tacho (domiciliario)	Recolección de los residuos mezclados	3	Martes, jueves y sábado
Recolección de puntos verdes	Contenedores	2 días/mes	

## 9. APROVECHAMIENTO

El aprovechamiento consiste en utilizar los Residuos Sólidos como materias primas o insumos para la fabricación de nuevos productos (reciclaje y compostaje) o para la reutilización en fines distintos a los iniciales.

Los residuos se pueden aprovechar siempre y cuando estén seleccionados en origen y recolectados de forma diferenciada, tal como se detalló en la sección correspondiente.



FUENTE: MMAYA/VAPSB/DGGIRS/2012

Los métodos de aprovechamiento mas comunes difieren en función del tipo de residuos empleados y la forma como fueron separados en origen. Los mas frecuentes son el reúso, el reciclaje y el compostaje.

### 9.1. Reúso

Es un método que solo requiere promoción y motivación por parte de los responsables del servicio de aseo, y es ampliamente empleado

en actividades estudiantiles.

Consiste en aprovechar los residuos sólidos dándole una nueva utilidad para otros fines diferentes a su función inicial. Los ejemplos mas comunes son el uso de envases de plástico para almacenar agua u otros líquidos, el empleo de latas de hojalata como macetas o tachos y los palitos de helado para trabajos manuales.

Casi todos los residuos, mientras no sean peligrosos, son susceptibles de reúso, solo empleando la creatividad e imaginación.



Materiales reutilizados: bolsas termofusionadas, cuadernos, estuches y otros

### 9.2. Reciclaje

El aprovechamiento de los residuos reciclables se entiende como la recuperación y clasificación de materiales que pueden ser utilizados como materias primas de procesos industriales, y por este motivo son susceptibles de comercialización.

PLÁSTICOS
Polietileno de alta densidad
Polietileno de baja densidad
Polietileno Tereftalato (PET)
Polipropileno
PVC
Poliestireno

VIDRIOS
Vidrio transparente
Vidrio ámbar
Vidrio verde
PAPELES Y CARTONES
Periódico/Revistas
Papel de color
Papel blanco
Cartón
METALES
Partes de metal (chatarra)
Aluminio
Cobre



Los residuos que pueden ser reciclables y los más demandados son los siguientes:

La cadena de valor del reciclaje considera todas las actividades, y las interacciones entre ellas, llevadas a cabo para aprovechar un determinado material reciclable. Estas actividades van desde la generación del residuo y separación en la fuente, pasando por su recolección, su alistamiento

o pre-transformación, procesamiento y su comercialización para la generación de nuevos productos, que son introducidos nuevamente al mercado.

En la siguiente figura se puede ver en qué consiste cada uno de los eslabones de la cadena de valor inicial del reciclaje y cuáles son las principales actividades que realizan.



La valorización de productos es el eslabón final de la cadena de gestión de residuos sólidos. Se puede distinguir entre valorización para la obtención de energía (biomasa o térmica) o reciclaje de productos para su reutilización en las cadenas de producción.

Los productos más demandados en Bolivia, son aquellos de los que generalmente se obtiene una tasa de reciclaje mayor, tanto por volumen de generación como por facilidad para realizar el proceso de reciclaje <sup>2</sup>.

## Papel y Cartón

El reciclaje de papel adquirió una gran importancia en el país durante los últimos años y en las ciudades de La Paz (Papelbol),

Cochabamba, Oruro (Cartonbol) y Santa Cruz (Kimberly). Existen industrias que compran papel, juntan la pulpa o bien lo reciclan para la fabricación de productos con valor agregado.

## Plásticos

Desde hace unos años, existen empresas que se dedican al reciclaje de la mayor parte de los tipos de plástico que circulan en el mercado. Las botellas PET son las que se han convertido en el residuo más demandado por la industria del reciclaje.

Existen fábricas de transformación de plástico en las tres principales ciudades del país, aunque su actividad principal es el picado y compactación de material, para poder ser enviado en mejores condiciones a otros países (Perú o Chile) que si cuentan con industria para llevar a cabo el proceso de reciclaje completo.

2. "EL MERCADO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN BOLIVIA"; Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en La Paz, 2019

El único producto que se exporta sin necesidades adicionales de transformación son las escamas peletizadas del PET.

Plásticos como el PEAD, PEBD o Propileno, son los pocos materiales que, a raíz del proceso de reciclaje, se utilizan en el propio país para la fabricación de tubos de plástico (tuberías de polietileno para transporte de agua y aire; protectores para conductores eléctricos y recipientes).

El único tipo de plástico que no se recicla en Bolivia es el Poliestireno debido a su complejidad en el tratamiento.

## Vidrio

En el caso del vidrio, el reciclaje se restringe únicamente al vidrio cristal y al vidrio de color. En Bolivia, únicamente existen fábricas de este tipo en La Paz (Vidrio Cristal) y en Cochabamba (Vidriolux).

## Metales

Existe un comercio de importante volumen de chatarra que es exportada principalmente a Perú y Brasil, sin ningún tipo de proceso o transformación. También hay una importante industria de reciclaje de aquellos productos como el aluminio, cobre y bronce. Del aluminio, el 80% de lo recolectado se aprovecha en el mercado local y el resto se destina a la exportación.

Existen pequeñas industrias de reciclaje de metales en las tres principales ciudades y dada la alta cotización y demanda de este tipo de residuos,

se espera que en los próximos años se genere más industria alrededor de este sector.

## Otros productos

Por último, mencionar que en Bolivia es reciente el reciclaje de pilas y productos electrónicos, por lo que las organizaciones ambientales en coordinación con las empresas prestadoras del servicio de aseo, efectúan campañas de recolección.

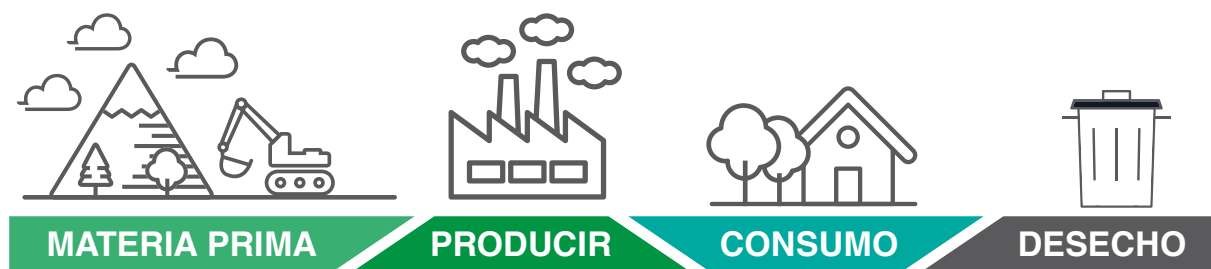
Otros productos que también se reciclan en el país, aunque en mucha menor escala, dada la naturaleza y utilidad de estos son aceite (de motor y vegetal), huesos, baterías de coche y sangre de mataderos.

### 9.2.1. La economía circular y la importancia del reciclaje

La economía circular se trata de un círculo virtuoso, en el cual se devuelve la naturaleza lo que puede ser devuelto y al sistema productivo lo que éste puede reutilizar.

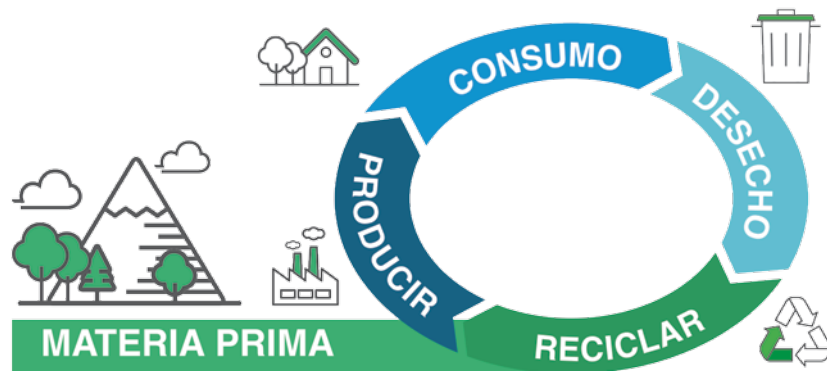
La economía circular es aquella en la cual se busca que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible y en la que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Busca prevenirlos en lugar de gestionarlos, tal como lo hacen los ciclos de la naturaleza, distinguiendo entre los ciclos biológico y técnico. Mientras el ciclo biológico se refiere al flujo de recursos renovables, el ciclo técnico contempla la gestión de reservas de materiales limitados o finitos.

## ECONOMÍA LINEAL



(tomar / consumir / desechar)

# ECONOMÍA CIRCULAR



(hacer / rehacer - usar / reutilizar) Residuo = Alimento/Recurso

## 9.2.2. Alianzas para favorecer el crecimiento de la economía circular

Es importante desarrollar alianzas entre los Gobiernos Autónomos Municipales con organizaciones privadas que promueven el reciclaje. Un ejemplo de ello es la Fundación para el Reciclaje (FUNDARE), una organización sin fines de lucro que tiene la misión de ser nexo de coordinación entre organizaciones para promover la cultura del reciclaje en todos los sectores de la sociedad.

Considerando que las actividades más importantes y visibles de recolección de reciclables en las ciudades capitales del país están a cargo de pequeñas empresas, será importante que los GAM apoyen cualquier esfuerzo para consolidar su rol en la cadena.

Entre los esfuerzos más visibles está la gestión para obtener el apoyo legal mediante una Ley que se está tramitando desde hace varios años, la cual reconoce los derechos de las mujeres y hombres recicladores de residuos sólidos, orgánicos e inorgánicos y sus organizaciones de representación.

## 9.3. Compostaje

Es la transformación controlada de materiales orgánicos (restos de frutas y verduras, de podas, pasto, hojas, etc.), a través de un proceso biológico para obtener compost, un abono orgánico natural de color café oscuro, de olor y aparien-

cia como el de la tierra que encontramos en los suelos boscosos (tierra vegetal), útil para la agricultura y jardinería.

Esta transformación consiste en la descomposición de los restos orgánicos por parte de microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos y fauna típica del suelo, gusanos de tierra, caracoles, cochinillas, etc.) en condiciones aerobias, es decir en presencia de oxígeno.

Este proceso requiere la implementación de infraestructura, equipos y personal dedicado a este proceso.



Compostaje municipal

En lo que corresponde a los volúmenes de materia orgánica destinados al compostaje y el humus de lombriz, las cantidades son mínimas en relación a los residuos orgánicos que se generan, estimándose que solo se recicla el 2% en las ciudades principales del eje central.

El principal problema de la comercialización del compost es la baja demanda que existe en las ciudades de los valles y del altiplano. Aparentemente el principal mercado se encuentra en el oriente del país.

Las principales ventajas económicas del compostaje son:

- Posibilidad de extender la vida útil del relleno sanitario municipal

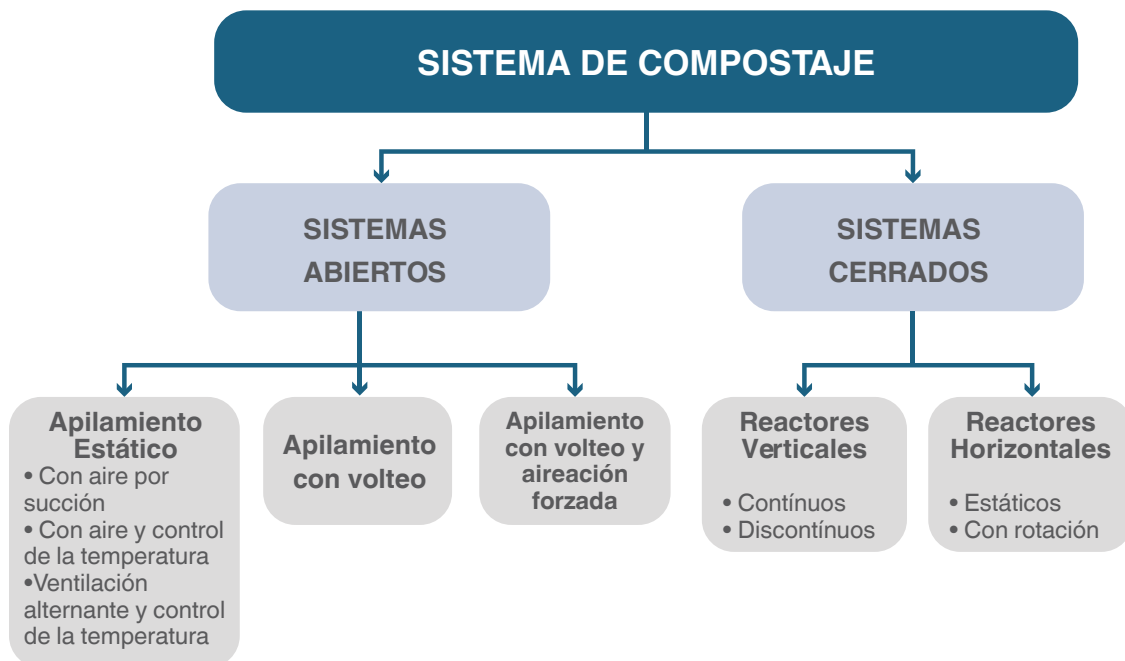
- Posibilidad de uso de este para fines municipales (viveros, protección de cuencas, reforestación de rellenos clausurados)

- Disminuye la generación de lixiviados en el relleno y por lo tanto los costos de tratamiento de éstos.

- Disminuye la generación de biogás reduciendo el impacto generado por los gases de efecto invernadero y los costos de captación y tratamiento de gases.

- Remplazo de fertilizadores artificiales por un producto más económico y natural

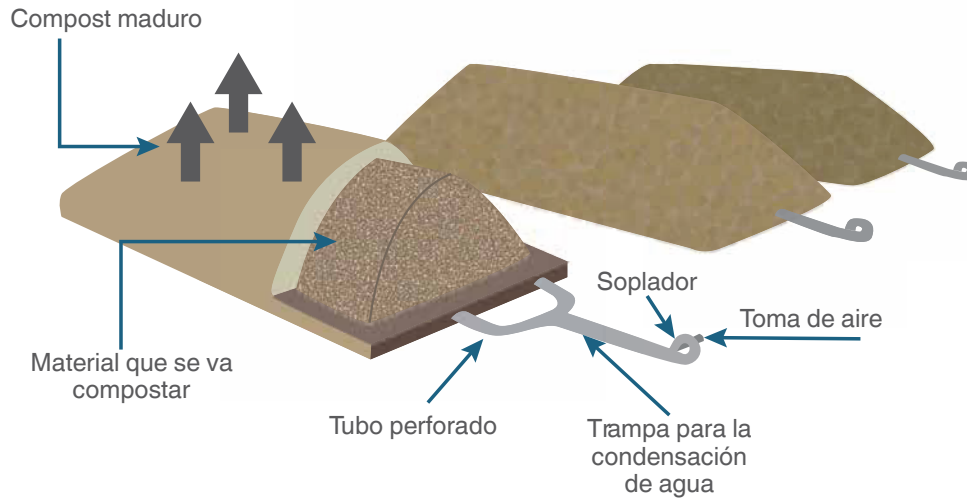
Los sistemas de compostaje existentes son los siguientes:



**A. Los sistemas abiertos** son los sistemas tradicionales de compostaje. Los residuos orgánicos a compostar se disponen en montones, pilas o hileras que pueden estar al aire libre o en naves cubiertas. La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteo manual, volteo mecánico o mediante ventilación forzada de las pilas, a continuación, se describen los sistemas de pilas estática y con volteo.

**Compostaje en montones, pilas o hileras estáticas con aireación natural:** Es el sistema más antiguo que se conoce y se realiza en montones, pilas o hileras, de altura reducida. Las pilas no se mueven durante el proceso de compostaje. La ventilación se da de forma natural a través de los espacios de la masa a compostar. Las dimensiones de los montones pueden estar en función de los equipos utilizados para compostar, pero para este

sistema, usualmente se utiliza una altura de 1,5 m, con un ancho en su base de unos 2,5-3m, y de frente triangular, debiendo presentar el terreno pendiente para época lluviosa.



**Compostaje en montones, pilas o hileras por volteo:** Aunque es un sistema muy utilizado porque es muy simple, tiene una serie de limitaciones. En primer lugar, la pila es oxigenada tan sólo periódicamente. Requiere, en general, más espacio y el control higiénico es más difícil.



*Pilas de compostaje base*



*Compostaje municipal*

**B. Sistemas cerrados,** en estos sistemas la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser de dos tipos: horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se hace al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente la superficie de compostaje y lograr un mejor control de

los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada. Reactores verticales (Continuos o Discontinuos) Reactores horizontales (Estáticos o Con rotación)

Las ventajas y desventajas de ambos sistemas se muestran en el cuadro siguiente:

ELEMENTO DE COMPARACIÓN	SISTEMAS ABIERTOS	SISTEMAS CERRADOS
Superficie	Grande	Reducida
Clima	Temperaturas no extremas	Variable y frío
Substrato	Todos, pero con agentes estructurales	Principalmente aquellos con elevada humedad
Tecnología	Relativamente sencilla, Sistemas de aireación 2 opciones: Aireación forzada y volteo	Relativamente sofisticada Sistemas de aireación: múltiples opciones
Sistema	Discontinuo a semicontinuo	Semicontinuo a continuo
Inversiones	De baja a moderada	De elevadas a muy elevadas
Costes de explotación	Variable. Elevada en el caso de utilización de agentes estructurantes	Elevado
Consumo energético	Bajo a medio	Medio a elevado
Mano de obra	Variable, según la instalación: mano de obra no especializada + formación + un técnico	Obrero especializado + técnico
Duración	Fermentación: semanas Maduración: meses	Fermentación: 3 a 15 días Maduración: meses
Olores	Problema si: - no hay suficiente aireación - volteos alargados en el tiempo	Se puede controlar según sistema de aireación



Pilas de compostaje, municipio de Cliza

Es importante destacar que los sistemas cerrados con inclusión de aireación tienen como principal desventaja su alto costo de inversión en equipos, por lo que, para su implementación deberá realizarse un proyecto con énfasis en la relación costo/beneficio.

# 10. DISPOSICIÓN FINAL

El objetivo de la disposición final de los residuos sólidos es el de confinar/depositar de forma definitiva aquellos residuos sólidos no aprovechables y aquellos remanentes de la etapa de aprovechamiento. Esta disposición debe realizarse de una manera segura para el medio ambiente y la salud pública.

En Bolivia existen dos tipos de lugares para disposición final de residuos sólidos:

- **Botaderos:** Los cuales no cumplen con normas técnicas ni disposiciones ambientales vigentes, creando riesgos sanitarios y ambientales. Existe dos tipos:
  - **A Cielo Abierto**, en los cuales se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada y donde los residuos muchas veces son quemados contaminando mucho más el medio ambiente, así como los cursos de agua subterráneos y los suelos.
  - **Controlados**, en los cuales los residuos depositados son compactados y cubiertos con tierra periódicamente. Pero, no cuentan con sistemas que eviten la contaminación de suelos y agua.
- **Relleno Sanitario:** Instalación o infraestructura de ingeniería que se ajusta a una "Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población. El relleno sanitario cuenta con proyecto de ingeniería, control de ingreso en la puerta, pesaje y no existen segregadores en el sitio" <sup>3</sup>.

## 10.1. Clausura de botaderos

De acuerdo a las determinaciones de la Ley 755, el plazo para la clausura de botaderos culminó el año 2020, por lo que será necesario lograr una dispensa específica previa al desarrollo de las acciones, las cuales se resumen en los siguientes aspectos, descritos en detalle en la "Guía para el Cierre Técnico de Botaderos" (MMAyA/VAPSB/DGGIRS; 2012):

### a. Diagnóstico, identificación del Problema y recopilación de datos.

Antes de iniciar la acción correctiva, es necesario tener conocimiento del sitio y su área de influencia. Para ello se requerirá de información específica sobre el tipo y cantidad de residuos dispuestos, la localización de cuerpos de agua superficial y subterránea con riesgo de contaminación, las condiciones hidrogeológicas y la topografía, entre otros.

### b. Evaluación de Alternativas Técnicas.

Comprende la evaluación general del sitio de disposición final y su área de influencia de acuerdo con criterios técnicos, económicos, sociales, ambientales y legales.

La evaluación tendrá como resultado dos alternativas: 1) cierre técnico definitivo o 2) la rehabilitación. En ambos casos deberá contar su respectivo manifiesto ambiental y proyecto técnico.

El cierre técnico definitivo: Corresponde a la clausura de las actividades de disposición final y a la ejecución de las obras de cierre técnico. Se deberá diseñar la alternativa técnica más viable que cumpla con los requisitos técnicos necesarios.

Rehabilitación del sitio del relleno sanitario: En caso de que el sitio donde está ubicado el botadero, previa evaluación, cumpla con la normativa de ubicación de sitios para rellenos y que éste pueda ser rehabilitado por disponibilidad de espacio, aceptación social y porque los impactos puedan ser controlados, se podrá rehabilitar el sitio, previo proceso de cierre técnico del espacio operado como botadero.

<sup>3</sup> MMAyA/VAPSB/DGGIRS/Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios/2012

### c. Selección de la alternativa.

Una vez que se han identificado y descrito las alternativas disponibles para el cierre técnico, se debe establecer sus ventajas y desventajas para cada una de ellas. Se debe tomar en cuenta, entre otros aspectos, costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, etc.

**d. Proyecto técnico.** Diseño técnico de la alternativa seleccionada: comprende el diseño y descripción de las acciones previas administrativas y sociales, de las obras de cierre técnico o rehabilitación, de los sistemas de control, del monitoreo y del mantenimiento post-cierre técnico

**e. Manifiesto Ambiental.** El botadero a cerrarse, sanearse y/o rehabilitarse a relleno sanitario, deberá contar un Manifiesto Ambiental de abandono o manifiesto ambiental de operación según corresponda a un proyecto de cierre técnico o a un proyecto de rehabilitación.

**f. Ejecución de los trabajos definidos.** Implementación del proyecto técnico una vez que el mismo está autorizado por la autoridad ambiental competente.

### g. Implementación del programa de mantenimiento y monitoreo post-cierre técnico del sitio.

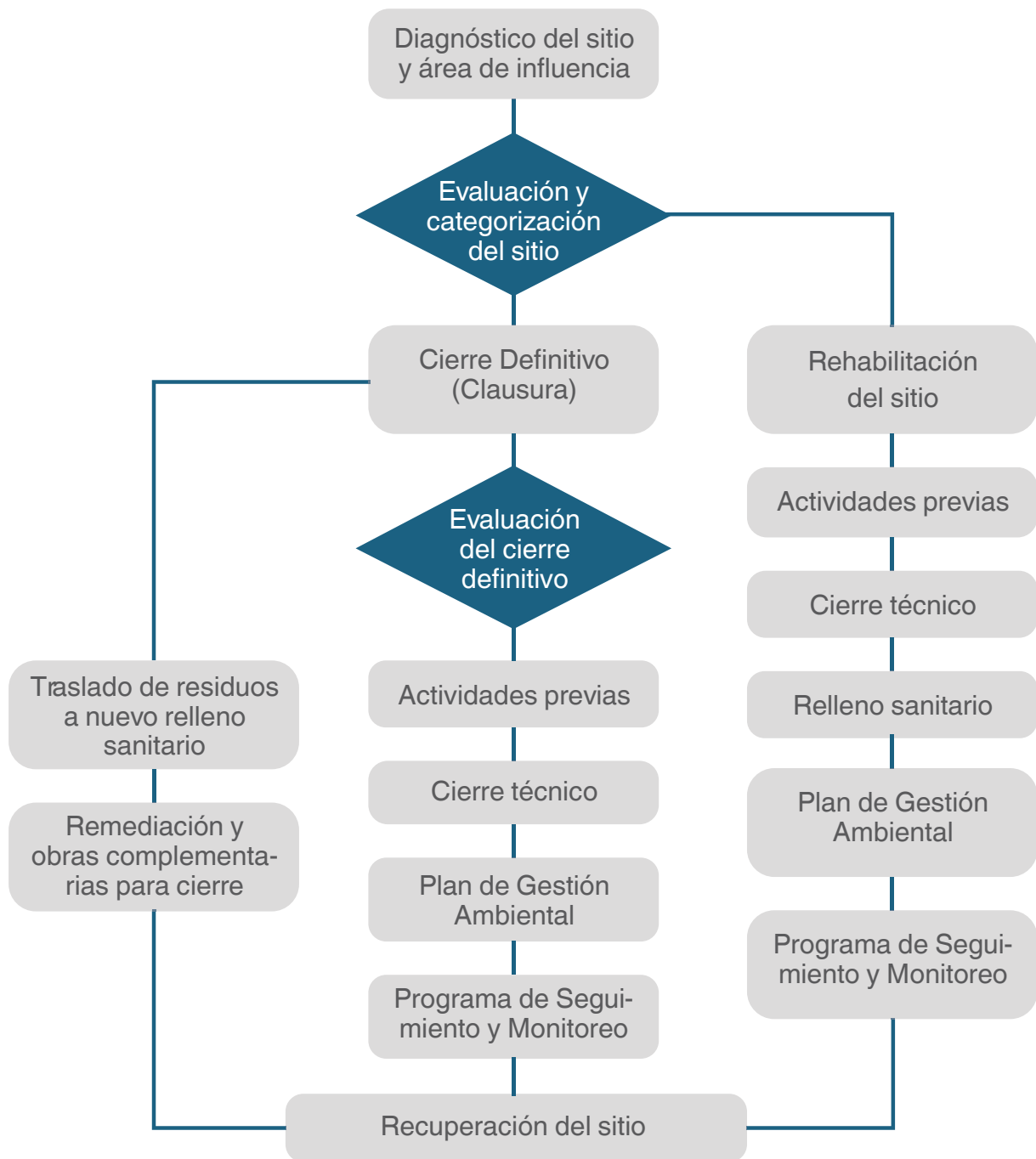
Este programa está encaminado a realizar una observación continua en el tiempo y espacio de las variables ambientales y sus indicadores. También, debe determinar el comportamiento y evolución de los parámetros físicos, bióticos y socioeconómicos de la disposición final de residuos sólidos y de su área de influencia, además, de garantizar el mantenimiento de las obras de cierre técnico.

Es fundamental considerar que el Gobierno Municipal, para proceder a tomar acciones para la eliminación de botaderos, deberá tener mínimamente un relleno sanitario en fase final de construcción o de ser posible listo para iniciar operaciones para la disposición final segura de sus residuos sólidos.

Monitoreo de la calidad de aire, suelo y agua en botaderos







## 10.2. Tipos de rellenos sanitarios

De acuerdo a la Guía, los tipos de rellenos sanitarios en función a la Técnica de Disposición son los siguientes:

**a. Relleno Sanitario Manual**, es un método diseñado para poblaciones menores a 40.000 habitantes, cuya generación de residuos sólidos no exceda de 20 Toneladas/día. La característica principal para la disposición final, radica en el empleo

de técnicas y equipo manual. Para facilitar la operación de compactado y cobertura puede considerarse el empleo de un minicargador.

**b. Relleno Sanitario Semi-mecanizado**, es un método diseñado para poblaciones entre 40.000 y 100.000 habitantes cuya generación se encuentre en un rango de 20 a 40 Toneladas/día. La característica principal radica en el empleo parcial y permanente de técnicas y equipo

## Esquema de un Relleno Sanitario Manual

1. Una zanja o trinchera para disposición de los residuos.
2. Un sistema de recolección y almacenamiento de los lixiviados para su secado.
3. Un sistema para la dispersión de gases.

4. Un cerco perimetral seguro.
5. Material de cobertura para el recubrimiento de los residuos sólidos.
6. Impermeabilización con arcilla compactada.



Fuente: *Rellenos Sanitarios para Poblaciones Menores a 10.000 habitantes. Cooperación Danesa, Bolivia, 2008.*

mecanizado para el compactado y cobertura (maquinaria pesada). Por ejemplo, se puede usar un buldócer o tractor oruga. Eventualmente, de acuerdo a la programación, es apoyado por maquinaria para traslado de material de cobertura.

**c. Relleno Mecanizado**, es un método diseñado para poblaciones mayores a 100.000 habitantes y cuya generación exceda de las 40 Toneladas/día. La característica principal radica en el empleo de maquinaria pesada combinada de manera permanente en lugar de operación. Por ejemplo, se puede utilizar un tractor compactador, buldócer, retroexcavadora, cargadora frontal o pala cargadora y el equipo de apoyo (camión cisterna y volquete).

Adicionalmente, salvo en el caso del relleno sanitario mecanizado que debe contar con todas las facilidades, es recomendable que cuenten con:

- bascula de pesaje,
- impermeabilización natural de la celda (arcilla),
- impermeabilización artificial (geosintéticos, geomembranas),
- sistemas de captación y tratamiento primario de lixiviados,
- pozos de monitoreo de aguas subterráneas,
- sistemas de captación y ventilación de biogás,
- sistemas de tratamiento de biogás,
- cerco perimetral,
- caseta de control
- y áreas administrativas y de servicios para el personal.

## Esquema de un Relleno Sanitario Semi Mecanizado o Mecanizado

Un relleno sanitario mecanizado debe contar con: celdas de confinamiento, red de captación de lixiviados, red de chimeneas de ventilación, laguna de lixiviados, taller

de servicios, residuos compactados, báscula, oficinas administrativas, cerco perimetral, pozos de monitoreo, caseta de vigilancia.



Fuente: Rellenos Sanitarios. Presentación: Sandoval Leandro, Organización Panamericana de Salud, Cochabamba, 2005.

### 10.3. Procedimientos previos a la construcción de un relleno sanitario

Siguiendo las recomendaciones de la Guía y empleando el flujograma siguiente, se presenta un resumen explicativo de cada uno de los pasos. (Flujograma pag.34)

#### a. Línea Base de Información y Diagnóstico

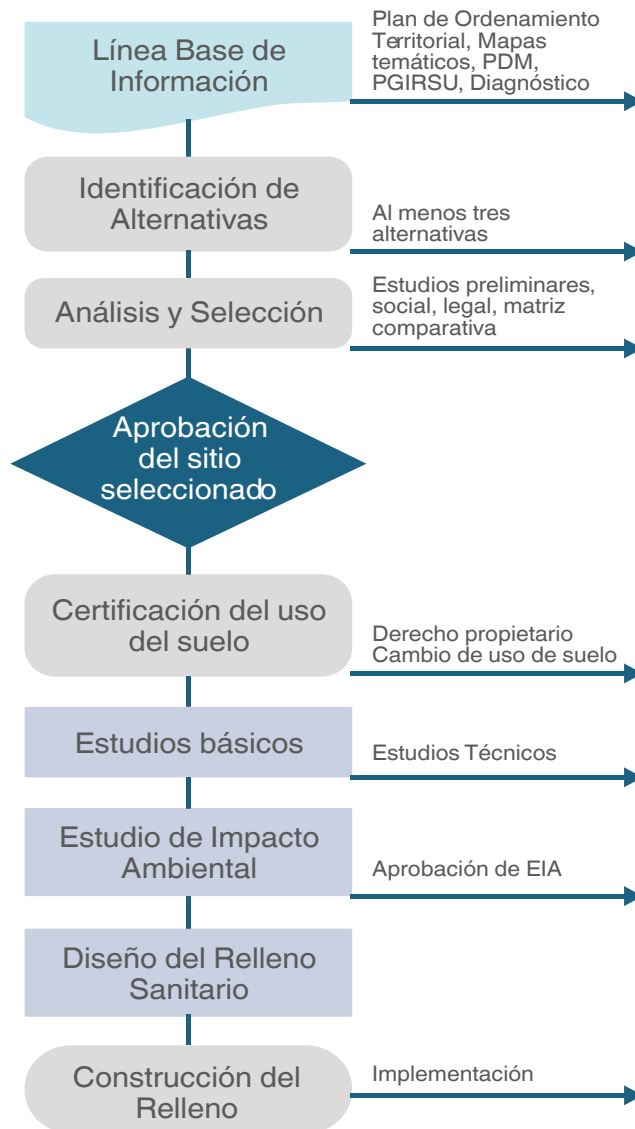
A pesar de que la mayoría de los municipios del país ya cuentan con una línea base para encarar la GIRS, la formulación de ésta estará en función del Plan de Desarrollo Municipal y toda la información disponible que permita caracterizar el área de estudio y la gestión actual de los residuos sólidos.

De tratarse de un proyecto específico de Relleno Sanitario, inicialmente se deberá realizar un análisis territorial del área de influencia de proyecto, por las fortalezas o debilidades que significan especialmente los aspectos climáticos, de suelos y topográficos en un relleno sanitario y por las restricciones que significarían la cercanía de población, la infraestructura vial y el uso de suelo.

#### b. Identificación de alternativas

Considerando que ya se cuenta con información referida a las restantes actividades de la GIRS, debe procederse a localizar un sitio adecuado para un relleno sanitario, actividad que es una de las acciones más complejas para poder iniciar un proyecto de disposición final de residuos, pues define la viabilidad o no del proyecto.

## Flujograma de procedimientos previos a la construcción de un relleno sanitario



En este proceso se recomienda la identificación de por lo menos tres alternativas, las cuales deben cumplir las exigencias básicas de que no afecten a los procesos de crecimiento urbano, las condiciones productivas y los recursos naturales, que consideren:

- Uso del suelo y planes de expansión urbana (si existe).
- Mínimo impacto social y ambiental por la construcción operación y cierre.
- Factores climáticos, topográficos, geológicos e hidrogeológicos.
- Prevención de riesgos sanitarios y ambientales.
- Preservación del patrimonio arqueológico y cultural de la zona.
- Preservación de áreas naturales protegidas por el estado y conservación de recursos naturales renovables.
- Menor vulnerabilidad del área a desastres naturales.

Adicionalmente, debe tomarse en cuenta el área necesaria, que puede obtenerse empleando

fórmulas de cálculo disponibles, o empleando el cuadro siguiente:

<b>Área Total Referencial Requerida para Relleno Sanitario por Población y Generación Total</b>			
<b>Municipio</b>	<b>Habitantes</b>	<b>Generación Ton/día</b>	<b>Área Total requerida</b>
Población A	2.000-10.000	Entre 2 a 5	2 a 5 Ha
Población B	10.000 - 50.000	Entre 5 a 25	5 a 10 Ha
Población C	50.000 - 100.000	Entre 25 a 50	10 a 20 Ha
Población D	100.000 - 500.000	Entre 50 a 350	20 a 30 Ha
Población E	500.000 - 1.000.000	Entre 350 a 650	30 a 40 Ha
Población F	Más de 1.000.000	Más de 650	Más de 40 Ha

Fuente: MMAyA/VAPSB/DGGIRS

La elección de la mejor alternativa, después de realizar todos los estudios de campo correspondientes y acopiar la información relevante, podría ser realizada empleando el siguiente cuadro refe-

rencial, que contiene valores restrictivos como la proximidad mínima a centros poblados, a aeropuertos y la afectación a fuentes de agua.

<b>Análisis de Factores y Parámetros para la Identificación de Sitios</b>						
<b>Factores / Parámetros</b>	<b>Valor mínimo permisible</b>	<b>Puntaje Máximo (a)</b>			<b>Importancia del Factor (b)</b>	<b>Ponderación del Factor (a*b)</b>
		<b>Mejor Valor</b>	<b>Valor Medio</b>	<b>Peor Valor</b>		
<b>Fact. Ambientales</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>De 1 a 5</b>	
Proximidad a centros poblados	1.000 m	> 1.000		< 1.000		
Proximidad a Aeropuertos	3.000 m	> 3.000		< 3.000		
Proximidad a otras instalaciones	1.000 m	> 1.000		< 1.000		
Presencia de zonas de recarga acuífera o fuentes de abastecimiento de agua potable	500 m	> 500		< 500		
Afectación paisajística	n.c.	Baja o inexistente	Media	Alta		
Existencia de Barreras naturales (taludes, bosques)	n.c.	Alta	Media	Baja o inexistente		
Presencia de flora y fauna	n.c.	Baja o inexistente	Media	Alta		
Existencia de áreas protegidas	n.c.	No		Si		
Área con restos arqueológicos	n.c.	No		Si		
Dirección del viento predominante	n.c.	En sentido contrario	En otro sentido	En el mismo sentido		
<b>Factores Técnicos</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>De 1 a 5</b>	

Análisis de Factores y Parámetros para la Identificación de Sitios						
Factores / Parámetros	Valor mínimo permisible	Puntaje Máximo (a)			Importancia del Factor (b)	Ponderación del Factor (a*b)
		Mejor Valor	Valor Medio	Peor Valor		
Vida útil del Terreno	15 años	> 15 años		< 15 años		
Topografía del terreno	n.c.	3% a 12%	12% a 25%	>25% o <3%		
Textura	n.c.	Greda franco arcillosa	Arcillo limoso	Sin presencia de arcilla		
Permeabilidad	10 <sup>-5</sup> cm/s	< 10 <sup>-5</sup>	Entre 10 <sup>-5</sup> y 10 <sup>-5</sup>	> 10 <sup>-5</sup>		
Barrera Geológica	1.50 m	> 1.50		< 1.50		
Características de drenaje natural	n.c.	Bien drenado (>3m todo el año)	Moderadamente drenado (Entre 0.50 m y 3m mayor parte del año)	Pobremamente drenados entre 0.50m y 3m mayor parte del año		
pH suelo	n.c.	> 6.0	Entre 5.5 - 6.0	< 5.5		
Hidrogeología (manto acuífero)	150 años	> 150		< 150		
Condiciones sísmicas	n.c.	Sin riesgo sísmico		Con riesgo sísmico		
Fallas geológicas	60 m	> 60		< 60		
<b>Factores Económicos</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>De 1 a 5</b>	
Distancia de recorrido en el transporte de residuos sólidos	20 km	< 20		> 20		
Disponibilidad de material para cobertura	n.c.	Material de cobertura en el sitio	Material de cobertura en el sitio	Sin material de cobertura		
Caminos de acceso	n.c.	Transitable	Requiere hacer mejoras	Requiere apertura		
Disponibilidad de servicios básicos	n.c.	Servicios básicos de luz y agua en el sitio	Servicios básicos próximos al sitio	Sin servicios básicos		
Uso actual de terreno y sus colindancias	n.c.	Terreno improductivo	Terreno de pastoreo	Terreno productivo		
<b>Factores Sociales</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>De 1 a 5</b>	
Legalidad de asentamientos	n.c.	Menos a 100 familias ilegalmente asentadas	Entre 100 y 200 familias ilegalmente asentadas	Mayor a 200 familias ilegalmente asentadas		
Opinión pública	n.c.	Opinión favorable	Opinión dividida	Opinión desfavorable		
Interés en el proyecto	n.c.	Interés favorable	Interés medio	Sin interés		
Necesidad de servidumbre para acceso	n.c.	No		Si		
<b>Factores Legales</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>De 1 a 5</b>	
Derecho propietario	n.c.	Público	Comunitario	Privado		
Estado jurídico	n.c.	Terreno saneado	Terreno con documentación faltante	Terreno en litigio		

n.c.: no corresponde  
Fuente: MMAYA/VAPSB/DGGIRS

Adicionalmente se deberá tomar en cuenta la siguiente condicionante:

Para la construcción del relleno sanitario, es condición imprescindible que la institución gestora del proyecto asegure la tenencia del terreno en la fase de preparación del Informe Técnico de Condiciones Previas, acreditando para tal efecto, el derecho propietario o algún documento legalmente válido como convenios, contratos de comodato u otros que garanticen el uso de esos predios en forma continua y permanente en la fase de ejecución del proyecto y en la posterior prestación del servicio, sin riesgo alguno. Esta documentación debe ser presentada como respaldo en el Anexo respectivo.<sup>4</sup>

Una vez que se cuente con la opinión favorable del terreno seleccionado para el proyecto de relleno sanitario, se iniciará el trámite

<sup>4</sup> MMAyA / VAPSB / DGGIRS / Guía para la preparación del estudio de diseño técnico de preinversión en gestión integral de residuos sólidos – proyectos menores / 2019

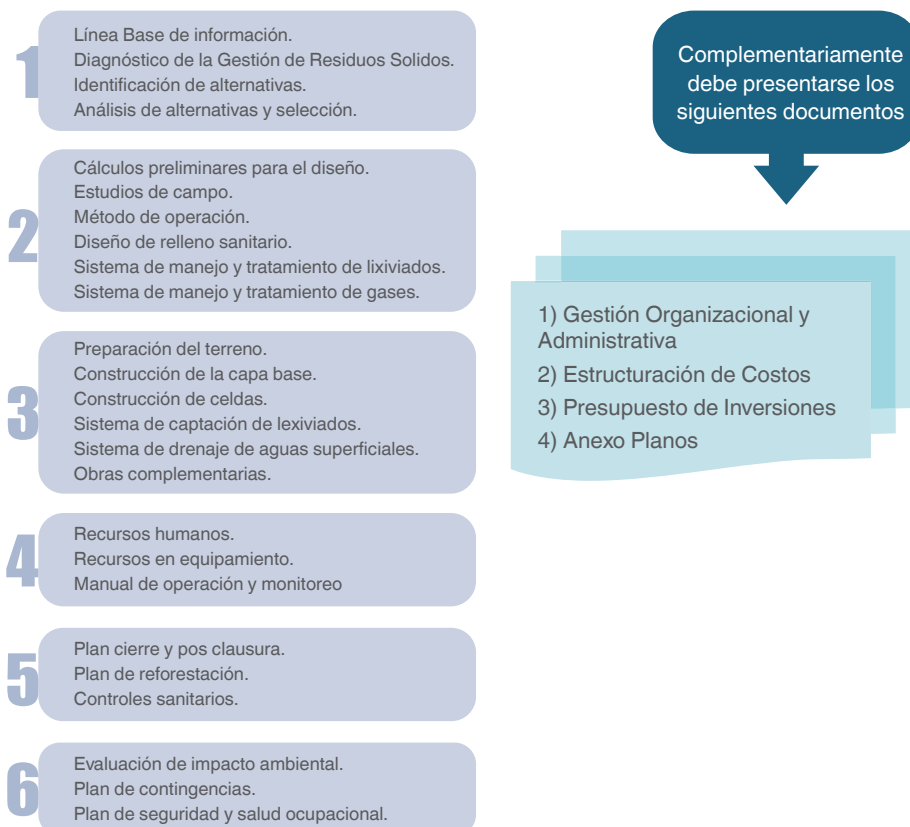
para lograr las certificaciones respectivas dependiendo donde se encuentre ubicado el sitio, tales como:

- Certificado de no encontrarse el proyecto en un área natural protegida por el Estado
- Certificado de no encontrarse en un área vulnerable a desastres naturales
- Certificado de no afectación de restos arqueológicos

Con los documentos previamente citados, se dará inicio a la formulación del proyecto con el desarrollo de los estudios básicos como el topográfico, geológico, hidrogeológico, de suelos, entre otros.

Con base al proyecto a nivel de prefactibilidad concluido, se inicia la formulación del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto de relleno sanitario.

El documento de proyecto para un relleno sanitario debe contener los puntos contenidos en el gráfico siguiente:



## 10.4. Procedimientos generales de la operación de un relleno sanitario

Los procedimientos regulares de disposición de los residuos sólidos comienzan con la descarga de los desechos en el área de trabajo. Continúan con el esparcido de los residuos en el frente de trabajo para su posterior compactación y finalmente concluyen con la distribución del material de cobertura.

Para el correcto avance de los frentes de trabajo se debe contar con un plan de distribución de los residuos sólidos. Éste consiste en la planificación de las diferentes áreas de llenado para recibir residuos sólidos, la secuencia de llenado y el cierre final del área llenada, siguiendo este orden:

- Distribución escalonada de los RS, mediante el uso de un área, la preparación de la siguiente y el cierre de la llena.
- Construcción de caminos de acceso y áreas inclinadas para estos trabajos.
- Construcción del drenaje de aguas superficiales para las diferentes áreas.
- Construcción del revestimiento y del sistema de recolección de lixiviados de la siguiente área ya excavada y preparada

para la colocación de los residuos sólidos.

- Construcción del sistema de recolección de biogás de las nuevas áreas, empalmado con los anteriores.

Los tres últimos anotados revisten particular atención por las consecuencias ambientales y de seguridad de una construcción y operación inadecuadas.

La construcción del drenaje de aguas superficiales es de vital importancia porque minimiza la infiltración del agua de lluvia y de otras fuentes cercanas al sitio en las celdas que contienen residuos. Esta agua incrementa la cantidad de lixiviados sumando la humedad natural de los residuos sólidos y afectando adicionalmente a la estabilidad de las celdas concluidas. Esta situación se da con mayor incidencia en los dos primeros años de operación del relleno sanitario.

La construcción del revestimiento y del sistema de recolección de lixiviados es importante ya que una vez colectados los lixiviados y transportados a las pozas de tratamiento, debe realizarse la remoción de los contaminantes presentes como DQO, DBO5, compuestos orgánicos volátiles, amonio, y metales pesados, para lo cual se pueden emplear diferentes métodos dependiendo el tamaño y tipo de relleno sanitario, como se muestra en el siguiente cuadro:

Tratamiento de Lixiviados por tipo de rellenos sanitarios						
Tipo de Relleno Sanitario	Primario		Biológicos		Terciario	
	Recirculación	Laguna de Estabilización	Anaeróbicos	Aeróbicos	Físico-químicos	Membranas
Relleno Manual	X	X				
Relleno Semi mecanizado	X		X	X		
Relleno mecanizado			X	X	X	X

Fuente: MMAYA/VAPSB/DGGIRS



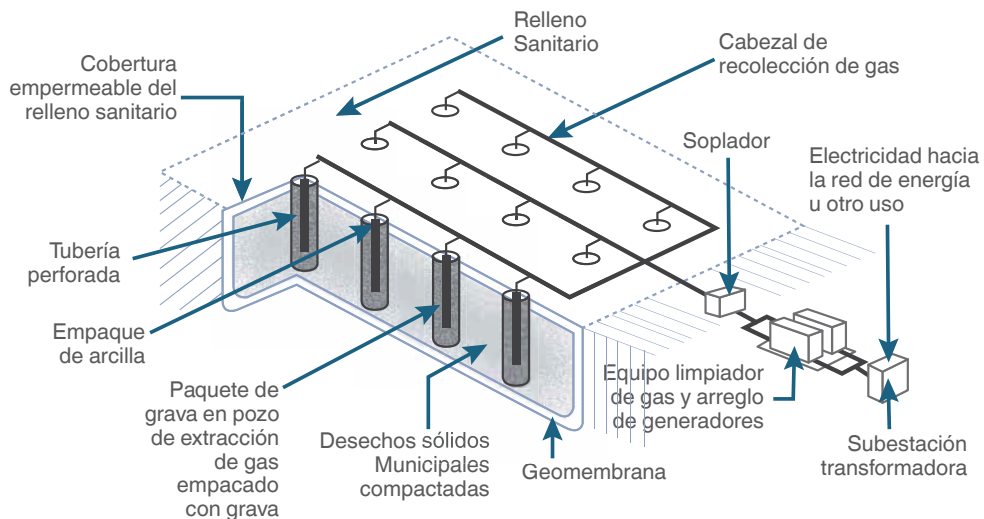
Por último, la construcción del sistema de recolección de biogás es también de vital importancia porque éste realiza la captación y eliminación de los gases orgánicos producidos por el proceso de estabilización de los residuos sólidos al interior de un relleno sanitario, que son principalmente CH<sub>4</sub> (metano) y CO<sub>2</sub>, los cuales se producen durante un largo tiempo aun después del cierre del relleno sanitario.

Estos gases se pueden evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador y el drenaje pasivo se refiere a la difusión natural de los gases mediante chimeneas.

En el drenaje pasivo se instala un sistema de ventilación de pozos armados de piedra o tubería de PVC perforada y revestida en piedra o concreto. Éstos funcionan como una chimenea que atraviesa todo el relleno en sentido vertical, desde el fondo hasta la superficie.

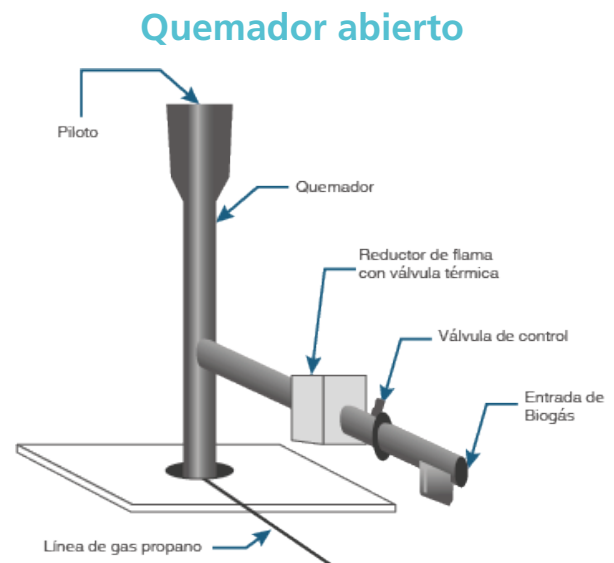
La recuperación de biogás se instituye en los rellenos sanitarios por dos razones. La primera porque ésta se basa en la recuperación y el control del gas mediante el quemado o simplemente la dilución y dispersión. La segunda, pues para la recuperación de gas se basa en el aprovechamiento del contenido de energía del gas a través de la recuperación y la utilización de la misma.

## Sistema de Capacitación de Biogás por Medio de Pozos Verticales



Fuente: *Captación y uso del Biogás en Relleno Sanitario Clausurado*, SEDESOL, México. 2005.

Por último, los gases colectados son quemados mediante el siguiente esquema:



Fuente: *Agencia de Residuos de Cataluña*.

## 10.5. Requerimientos de personal, elementos de protección personal y herramientas

A nivel referencial, la cantidad y funciones del personal de un relleno sanitario, dependiendo del tipo de operación, se muestra en el cuadro siguiente:

Personal Requerido		Relleno con Compactación		Personal para Relleno Manual
		Personal para Relleno Mecanizado	Personal para Relleno Semi-mecanizado	
Jefe de Relleno Sanitario		1	1	0
Ayudante del Jefe de relleno		1	0	0
Técnico de laboratorio o químico		1	0	0
Chofer de Maquinaria pesada (tractor, oruga, pala, retroexcavadora)		3	2	0
Mecánico para reparación de maquinaria pesada		1	1	0
Técnico mecánico para reparación de vehículos y otro equipos.		1	0	0
Responsable de balanza y portería		2	1	1
Obreros para el relleno	Colocado, compactado y cubierta de residuos	6	3	8
	Construcción de chimeneas			
	Limpieza de Canales de drenaje y cunetas			
	Mantenimiento de planta de tratamiento de lodos			
<b>Total de Personal</b>		<b>16</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

Por su parte, los elementos de protección personal y la frecuencia de dotación para el personal del relleno sanitario, además de las herramientas recomendadas, es la siguiente:

Elementos de protección personal	Cantidad
Overol	3 por año
Guantes de seguridad	2 por año
Chaleco reflexivo	1 por año
Sombrero o cachucha	1 por año
Barbijos	1 por día
Impermeable o saco de lluvia	1 por año
Botas de agua	1 por año
Botas de cuero antideslizante	1 por año

Herramientas (Principalmente relleno manual)	Cantidad
Pala	2 por año
Azadón	2 por mesño
Picota	4 por año
Rastrillo	2 por año
Pisón de Mano	1 por año
Machete	2 por año
Sierra	2 por año
Carretilla	2 por año
Rodillo Manual	1 por año
Boca de Lobo	2 por año
Rasqueta	2 por año

## 10.6. Cierre del relleno sanitario

Concluida la vida útil del relleno sanitario, se inicia la etapa de cierre hasta lograr su integración, de manera sostenible, con el medio que lo rodea.

El plan de cierre debe detallar las obras y actividades destinadas a mantener las condiciones anaeróbicas de la disposición de los residuos en la infraestructura, controlar la migración de biogás y lixiviados y la integridad de la infraestructura luego de finalizadas las operaciones de disposición final de residuos.

Este plan-acorde a la Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios- debe de contar con los siguientes elementos:

Una cobertura final que constituye el sellado del relleno sanitario, aquella operación que se realiza después del cierre y que tiene eventualmente como objetivo preparar la superficie para realizar las futuras obras de rehabilitación del área.

La cobertura final estará conformada por tres capas: una capa de soporte, una capa de barrera hidráulica (capa impermeable) y una capa vegetal (de apoyo para material el crecimiento de las especies vegetales).

Adicionalmente, se debe realizar el mantenimiento de las vías de circulación, de la cobertura vegetal en la celda, de las áreas verdes, del sistema de drenaje de aguas superficiales, de los taludes y banquinas. También del sistema de captación de lixiviados, las piscinas de almacenamiento de lixiviados, del sistema de

captación de biogás y debe realizarse un control a los asentamientos de las celdas.

Adicionalmente, es importante proceder a la reforestación iniciada durante la construcción del relleno y continua con la misma durante todo el periodo operativo. La arborización del relleno sanitario ayuda considerablemente a minimizar daños ambientales, además contribuye a estabilizar los taludes y disminuye la cantidad de las emisiones.

Luego de efectivizar el cierre técnico del relleno sanitario, se debe esperar un tiempo prudente de aproximadamente 10 a 15 años para que se establezca la generación de lixiviados o gases y así se pueda destinar el sitio para un nuevo uso.

Esto dependerá del clima, de su localización respecto al área urbana, de su extensión y de la configuración final del relleno, de la altura y finalmente del grado de compactación para así poder usarlo en el desarrollo de programas de recuperación paisajística y social como un parque, un campo deportivo o una zona verde.



Ejecutado por:

