

## ***TÉCNICA I - RELLENO SANITARIO MANUAL***

Alternativa técnica segura y económica de disposición final de residuos sólidos, que consiste en el enterramiento o acumulación sistemática de los desechos en suelos aptos utilizando principios de ingeniería y en el control de operaciones y parámetros ambientales. Este método, de acuerdo con fuente bibliográfica consultada (Jaramillo, J., 1991), es aconsejable para pequeñas comunidades que generan menos de 20 toneladas diarias de residuos. En la Villa Antofagasta de la Sierra la generación total diaria de residuos sólidos es sumamente menor (aproximadamente 1 ton/d).

El objetivo de esta técnica es disponer en forma permanente todos los rechazos provenientes del flujo de residuos sólidos urbanos que se generan en la Villa, en un sitio que cumpla con los requerimientos necesarios para su emplazamiento. En este caso, los rechazos serán todos aquellos residuos que no sean recuperados para su posterior aprovechamiento (reuso o reciclado) en la Villa o probable traslado a otra localidad.

Las principales ventajas de esta técnica de disposición final mediante relleno sanitario manual, son, entre otras, las siguientes:

- ✓ Método completo y definitivo de disposición final
- ✓ Enterramiento controlado de residuos sólidos
- ✓ Bajos costos de inversión y operación
- ✓ Equipamiento simple y accesible para la operación
- ✓ Minimización de olores
- ✓ Eliminación de vectores patógenos y plagas
- ✓ Generación de empleo u ocupación
- ✓ Mantenimiento de la calidad visual del paisaje
- ✓ Flexibilidad ante cambios cuantitativos en los residuos (puede adecuarse la maquinaria y la mano de obra ante incrementos imprevistos)

## **1. SELECCIÓN DEL SITIO**

### ***1.1. Análisis preliminar de alternativas de localización***

El primer paso a realizar en el proceso de planificación de un relleno sanitario es la selección del sitio adecuado para su emplazamiento. Esta tarea es muy significativa ya que las características naturales del lugar seleccionado y los usos actuales y futuros por parte de la población condicionarán la eficiencia y seguridad operativa y ambiental de esta práctica.

En el Informe N°1 se presentaron en forma sintética los primeros sectores analizados para la preselección del/los lugares más convenientes para la instalación del RSM. Esta evaluación de sitios se efectuó en base a la confrontación de los mismos con criterios de selección. Para esta tarea, se contó con información antecedente y relevamiento *in situ*.

Los criterios de selección empleados tienen por objeto descartar aquellos sectores que no reúnen los requerimientos básicos, de manera de profundizar los estudios en los lugares más aptos.

#### 1.1.1. Criterios de selección preliminar

✓ *No geológicos:*

Localización: en este punto se deben contemplar: la disponibilidad de tierras, ya sean públicas o privadas (en este último caso, posibilidad de acceder a ellas); la distancia existente entre el sitio y el centro de generación de residuos; presencia de pista de aterrizaje y distancia a la misma (no se aconseja dentro de un radio de 1500m); presencia de asentamientos humanos en las inmediaciones (a no menos de 250m); presencia de áreas política o socialmente sensibles como escuelas, iglesias y hospitales.

Accesibilidad: se requiere un acceso directo, en buenas condiciones de tránsito de vehículos, incluso en períodos de contingencias climáticas (precipitaciones pluviales o navales).

Capacidad: este aspecto considera la disponibilidad de superficie y/o volumen necesarios para la recepción de los residuos generados durante toda su vida útil, esto es, las actuales y las proyecciones de incremento a 10 años.

Presencia de áreas naturales sensibles: es condicionante para la localización de un relleno sanitario la identificación de ecosistemas o áreas relativamente sensibles, que deben recibir protección por sus características estructurales y/o funcionales, como pueden ser bañados o pantanos; sitios de asentamiento, abastecimiento y nidificación de aves; presencia de especies raras o amenazadas de extinción; zonas de refugio de fauna nativa; entre otros.

Presencia de sitios de interés paisajístico: la calidad visual del paisaje es un elemento de consideración relevante en la selección del sitio de disposición final de residuos, ya que esta obra no es compatible con un entorno donde las características estéticas elevadas condicionan su protección, conservación o su planificación para otros usos (turístico - recreacional). La fragilidad visual se define como la *susceptibilidad de un paisaje al cambio* cuando se desarrolla un uso sobre él. Expresa el grado de deterioro que el paisaje experimenta ante la incidencia de determinadas actuaciones. En función de esto, puede decirse que las zonas de calidad y fragilidad visual bajas son aptas desde el punto de vista paisajístico para la localización de obras como la propuesta para la disposición de residuos sólidos de la Villa.

Limitaciones de planificación: es imprescindible conocer los planes locales de usos actuales y futuros del suelo del sector bajo estudio. El relleno sanitario es incompatible o interfiere con muchos usos, como por ejemplo la urbanización, la explotación agropecuaria, la recreación y el turismo.

✓ *Geológicos:*

Topografía: las características morfológicas del terreno condicionan el diseño del relleno. Dependiendo de las formas (quebradas, laderas montañosas, valles, bajos

inundables o anegables, etc.), se determina el lugar más aconsejable. La elección del lugar dependerá de los recursos económicos y humanos para la construcción del relleno, es decir, el sector que más se adapte a las posibilidades técnico-económicas de la comunidad.

Características del suelo: la presencia de rocas porosas (como las calizas) o basalto impide o dificulta la instalación del relleno. El suelo debe poseer una textura relativamente suelta, de fácil excavación, y que a la vez aporte material para la cobertura de los residuos, la cual debe realizarse al final de cada jornada de trabajo. La presencia de material de cobertura en el área de influencia y la naturaleza del mismo, también condicionan la selección del sitio. Idealmente, el sitio más apto debería estar conformado por suelos arcillosos y con pendiente natural superior al 3%.

Ubicación y distancia respecto a cuerpos de agua superficial: el relleno sanitario debe localizarse preferentemente aguas abajo de un curso de agua superficial cercano. Esto evitará que la escorrentía superficial arrastre material proveniente del relleno sanitario y represente un riesgo de contaminación del agua. Se deben identificar las áreas sujetas a inundaciones, evitando la localización del relleno en estos sectores. Nunca el relleno se debe emplazar por debajo del nivel de inundación. El mejor caso es la localización a más de 1 Km de un curso de agua superficial y el peor caso a menos de 100 m.

Agua subterránea: con respecto a este factor, principalmente deben considerarse: la profundidad del nivel acuífero superior con respecto a la base del relleno sanitario; el uso actual o futuro del agua subterránea; áreas de recarga; la conductividad hidráulica; el clima (principalmente precipitaciones y evapotranspiración); la textura del suelo; la presencia de zonas de falla o barreras impermeables discontinuas y heterogéneas (piedra caliza dentro de un horizonte arcilloso); la distancia a fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano (por perforaciones o por surgencia natural, como lo es en el caso de la Villa, que se abastece de una vertiente natural localizada en al NO del casco urbano).

La distancia mínima que debe existir entre la base del relleno y el nivel freático es de aproximadamente 3 m si el mismo se construye sin una base impermeable que limite la infiltración de contaminantes. De todos modos, se aconseja como mínimo una barrera impermeable natural.

Las precipitaciones determinan la generación de lixiviados y el riesgo de contaminación del agua subterránea; de todos modos, el potencial o riesgo de contaminación en Antofagasta de la Sierra es muy bajo por tratarse de un clima árido con elevada evapotranspiración, escasas precipitaciones anuales y fuertes vientos.

Se deben evitar áreas de recarga para la localización del relleno.

Suelos de texturas finas son más aconsejables, mientras que la presencia de franjas con material poroso puede convertirse en un factor de riesgo para la infiltración de contaminantes, en caso de no existir bases impermeables en el relleno.

Distancia a fuentes de abastecimiento de agua: se debe evitar la localización del relleno aguas arriba de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. No deben localizarse pozos de agua potable dentro de un radio aproximado de 2 Km del sitio.

### 1.1.2. Análisis de sitios

Los sitios identificados y evaluados en relación con los criterios descriptos en el punto anterior, fueron los siguientes:

1. Sector ubicado al oeste del casco urbano, correspondiente al valle del río Punilla (ver Fotografía N°2)
2. Sector ubicado al NE del casco urbano
3. Sector ubicado al N del casco urbano
4. Bajada del Ilanco
5. Canteras abandonadas de ónix, localizadas a aproximadamente 30 Km al este de la Villa (ver Fotografía N°3)
6. Sector ubicado al SE del casco urbano correspondiente al basural de la Villa

Confrontando estos sitios con los criterios geológicos y no geológicos, en forma preliminar se descartaron los sitios 1, 2, 3, 4 y 5 debido a las siguientes razones:

Sitio 1: este sector, ubicado al oeste del casco urbano, se localiza en el valle de inundación del río Punilla (ver Fotografía N°2). Es una zona donde predominan vegas de ciperáceas y áreas con alfalfa para sostener al ganado de llama y ovino, principalmente. Es la zona productiva de la Villa, donde se encuentran los corrales de la hacienda. El río Punilla atraviesa el área en sentido N - S. Se localiza aguas abajo de la toma de agua potable, la cual se obtiene de una vertiente ubicada al NO de la Villa. Además, en este sitio se encuentra la Subestación Experimental de Altura perteneciente al Ministerio de Producción de la Pcia. de Catamarca, donde existen criaderos de vicuñas. Por lo tanto, respecto de la disponibilidad de tierras, usos actuales del suelo, características topográficas e hidrológicas, este sector no es viable para la instalación del relleno sanitario.

Sitio 2: este sector, ubicado al NE del casco urbano, está enmarcado por cerros. Es una zona de expansión urbana ya que se encuentra en la etapa final de la construcción de un barrio para madres solteras. Muchas de las viviendas actualmente están habitadas. Además, el sector es atravesado por la ruta nacional 153 de acceso a la provincia de Salta. No existen cursos de agua superficial en las inmediaciones y se encuentra alejado de la toma de agua potable. De todos modos, el uso actual y futuro del suelo (urbanístico) es incompatible con la operación de un relleno sanitario. Además, no es aconsejable la localización de un relleno sanitario en las proximidades de una vía de circulación principal desde la cual se pueda visualizar y/u obstaculizar el tránsito vehicular.

Sitio 3: el sector ubicado al N del casco urbano se descartó fundamentalmente por la presencia de formaciones montañosas.

Sitio 4: la bajada del Ilanco (Ver Fotografía aérea al final de este capítulo) se localiza al este de la Villa de Antofagasta de la Sierra, aproximadamente a unos 20 Km. El sector corresponde aparentemente al cauce del río Ilanco, pues pudo observarse un área revegetada en el fondo del mismo. Es una zona de gran calidad paisajística, donde la fragilidad visual respecto de cualquier obra o infraestructura derivada de la actividad humana, es elevada. Es un área que merece su conservación, limitando su explotación; por

lo tanto, es incompatible con la instalación de un relleno sanitario. Además, no tiene buena accesibilidad dada la distancia y la calidad de las vías de tránsito.

Sitio 5: las canteras abandonadas de ónix (ver Fotografía N°3) se ubican aproximadamente a unos 30 Km al este de la Villa, pasando la bajada del llanco. Con respecto a la calidad del paisaje y su fragilidad visual, valen las mismas consideraciones efectuadas para el sitio 4. Además, en la actualidad el camino de acceso presenta tramos angostos y peligrosos, representando un riesgo para el tránsito de los vehículos transportadores de residuos. Por otro lado, la distancia existente entre el centro de generación de residuos y este sitio es sumamente grande, por lo que esto también limita su elección, ya que los tiempos y costos de traslado se elevan.

### 1.2. Selección del sitio

El sector seleccionado preliminarmente, ubicado al SE del casco urbano, corresponde al área donde se localiza el basural de la Villa (ver Fotografías 6, 8 y 9). Es una zona no urbanizada, donde no se desarrollan actividades productivas y para la cual no existen planes de uso específico del suelo e incompatibles con un relleno sanitario. Se encuentra a una distancia aproximada de 800 a 1000 m del barrio Portezuelo. El acceso es directo, siendo actualmente utilizado para el transporte de los residuos al basural; sólo requiere un simple acondicionamiento.

El sector posee una capacidad volumétrica suficiente para toda la vida útil del relleno sanitario (los datos sobre dimensiones y vida útil se presentan en el *punto 2.4. Dimensiones*).

La pista de aterrizaje de la Villa se localiza al N –NE del sitio y a una distancia aproximada de 600 m. Si bien es importante que el relleno no se ubique en las inmediaciones de una pista de aterrizaje o aeropuerto, fundamentalmente por el riesgo de accidentes aéreos que puedan ocurrir por la presencia de aves o incendios no planificados, esta limitante puede manejarse para el caso de la Villa ya que aquí la avifauna es muy escasa y las operaciones del relleno prevén la cobertura de los residuos y el control de incendios. Además, la operatividad de la pista de aterrizaje es muy baja.

Las geoformas del terreno corresponden a quebradas entre cerros de escasa altura. No se pueden aportar los datos planialtimétricos debido a que no existe esta información antecedente a pequeña escala para la Villa, por lo que se recomienda su realización previo al diseño definitivo del relleno sanitario manual. En las laderas se observan pequeños rasgos de erosión hídrica por escorrentía superficial del agua de lluvia durante los escasos períodos de precipitaciones torrenciales. El sitio específico propuesto, correspondiente al antiguo basural (ver Fotografía N°8), presenta rasgos de erosión hídrica poco marcados y menor pendiente, en comparación con el sector correspondiente al basural actual (ver Fotografía N°9 en el Anexo). En la fotografía aérea pueden observarse en mayor detalle estas diferencias con respecto a la erosión hídrica superficial.

La textura del suelo superficial es relativamente arcillosa al tacto, por lo que constituiría un valioso aporte de material para la base impermeable del relleno y para la

cobertura de los residuos en las celdas de trabajo. De todos modos, se aconseja identificar áreas de préstamo de material, principalmente para la impermeabilización de la base del relleno y también para la cobertura de los residuos. En las inmediaciones de este sitio existe una cantera de explotación de material para la fabricación de ladrillos de adobe, la cual podría constituir una posible zona de abastecimiento. Por otro lado, se recomienda un estudio del perfil litológico de la zona no saturada para determinar granulometría, presencia de rocas porosas, material basáltico o tosca.

Ningún curso de agua superficial atraviesa el sector, salvo el río Las Pitas ubicado a más de 500 m al oeste del sitio. Con respecto al agua subterránea, como ya se ha mencionado en varias oportunidades, no se ha podido disponer de datos concretos sobre profundidad del nivel freático en el sector. De acuerdo con comentarios aportados por los funcionarios y observaciones *in situ*, puede suponerse que el acuífero superior no se localice por encima de los 6m de profundidad. La laguna de efluentes cloacales, ubicada aguas abajo del probable sitio de emplazamiento del relleno sanitario, presenta una diferencia de nivel aproximada de 3 m con respecto al sitio bajo estudio; y en aquel sector no se observó afloramiento del freático.

El agua subterránea no se utiliza para consumo humano, ni para ningún otro uso. De todos modos, ya se ha indicado en el informe N°1 que se deberían profundizar los estudios para su futura explotación.

La toma de agua potable está del otro lado del casco urbano (al NO) y aguas arriba de este sitio previsto para la futura instalación.

*Se destaca que esta selección no es definitiva pues deben realizarse in situ estudios hidrogeológicos y planialtimétricos que ajusten o confirmen el sitio preseleccionado para la instalación del relleno sanitario manual.*

## 2. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO MANUAL

### 2.1. Tipos de residuos a disponer

Para determinar el diseño del relleno sanitario se deben tener en cuenta las categorías de residuos sólidos que se dispondrán en el mismo, ya que en función de esto variará el volumen de los residuos a manejar y las dimensiones del relleno.

De acuerdo con las alternativas de tratamiento y/o disposición final de los residuos planteadas en el *Capítulo 7. Selección de Alternativas*, el relleno sanitario podrá receptionar:

- a) **Todos los residuos recolectados y transportados hasta el sitio de disposición final:** todas las categorías de residuos.
- b) **Los rechazos generados luego de la recuperación de la fracción compostable:** principales categorías a disponer: vidrio, plásticos, metales, textiles y madera, patogénicos domiciliarios, peligrosos domiciliarios, fracción de papel y cartón no reciclable ni compostable (50%), rechazo de barrido no compostable (30%).

- c) **Los rechazos generados después de la separación de la fracción recuperable y la fracción compostable:** principales categorías a disponer: fracción no recuperable de plásticos (50%), textiles y madera (50%), papel (50%), patogénicos domiciliarios y peligrosos domiciliarios.

Las dimensiones del relleno (volumen, área, tamaño de celda de trabajo) dependerán, entre otras cosas, de los residuos que el tomador de decisión seleccione para su disposición final mediante esta técnica.

## 2.2. Cantidades generadas de residuos

En este ítem se evalúa la **producción per cápita (PPC)**, la **producción total** y la **proyección de producción total**.

La producción per cápita (Kg/hab/d) y la producción total (Kg/d) de la población se determinaron en base a los resultados promedios de los tres muestreos realizados en la Villa y descriptos en el *Capítulo 5. Diagnóstico de la gestión actual de los RSU*, estableciéndose la producción anual para el corriente año.

La producción futura o proyección de producción de la población es de suma importancia en la elaboración del diseño del relleno sanitario, ya que el emprendimiento contempla un período determinado de uso o vida útil, el cual normalmente abarca entre 10 a 15 años. Por lo tanto, para ese período de tiempo es imprescindible conocer o estimar la *proyección poblacional* y la *proyección de PPC* anual de residuos sólidos generados. Con estos datos se pueden determinar las dimensiones del relleno para toda su vida útil.

Para la proyección de los datos de producción per cápita y total, durante el período de diseño, se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- ✓ Se estableció una vida útil de 10 años (2001 - 2010) para el RSM ha instalar en la Villa.
- ✓ Los datos del Año 0 (2000) corresponden a los datos iniciales calculados a partir de los muestreos de RSU.
- ✓ Para obtener la proyección de PPC se asumió un incremento del 1% anual de los residuos sólidos urbanos
- ✓ Para obtener la tasa de incremento poblacional se asumió un crecimiento geométrico de la población.
- ✓ Los datos de proyección de la población desde el Año 1 (2001) al Año 10 (2010) corresponden a las estimadas según la metodología descripta en el *Capítulo 4.1. Población y Demografía*.

Los datos de proyección poblacional, PPC y producción total anual se presentan a continuación en las Tablas 8.1. - 8.3., para las tres alternativas de rechazos a disponer en el relleno sanitario.

**TABLA 8.1. TODAS LAS CATEGORÍAS**

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN (hab)</b>	<b>PPC (Kg/hab/d)</b>	<b>TOTAL RS (ton/año)</b>
2000	744	1.27	344.88
2001	751	1.28	351.60
2002	758	1.29	358.43
2003	765	1.30	365.36
2004	773	1.32	372.87
2005	780	1.33	380.01
2006	788	1.34	387.74
2007	795	1.36	395.10
2008	803	1.37	403.07
2009	810	1.38	410.65
2010	818	1.40	418.85

**TABLA 8.2.TODAS LAS CATEGORÍAS  
MENOS FRACCIÓN COMPOSTABLE**

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN (hab)</b>	<b>PPC (Kg/hab/d)</b>	<b>TOTAL RS (ton/año)</b>
2000	744	0.407	110.52
2001	751	0.411	112.68
2002	758	0.415	114.86
2003	765	0.419	117.08
2004	773	0.423	119.49
2005	780	0.427	121.78
2006	788	0.432	124.26
2007	795	0.436	126.62
2008	803	0.440	129.17
2009	810	0.445	131.60
2010	818	0.449	134.75

**TABLA 8.3. RECHAZOS DESPUÉS DE  
SEPARACIÓN DE FRACCIONES  
RECUPERABLES Y COMPOSTABLES**

<b>AÑO</b>	<b>POBLACIÓN (hab)</b>	<b>PPC (Kg/hab/d)</b>	<b>TOTAL RS (ton/año)</b>
2000	744	0.230	62.59
2001	751	0.232	63.81
2002	758	0.235	65.05
2003	765	0.237	66.31
2004	773	0.239	67.67
2005	780	0.242	68.97
2006	788	0.244	70.37
2007	795	0.247	71.71
2008	803	0.249	73.15
2009	810	0.252	74.53
2010	818	0.254	76.02



### 2.3. Método seleccionado

En el Informe N°1 se describieron las alternativas de diseño para la construcción del relleno, esto es, en profundidad o en superficie, ambas con sus variantes (método areal y en trinchera o hilera).

Para el sitio seleccionado (ver Fotografía N°8) se recomienda implementar un relleno sanitario en profundidad utilizando preferentemente el método areal, de acuerdo con la morfología del sitio. De todos modos, debido a no disponer de información de base fundamental como la planialtimetría e hidrogeología, para elaborar el diseño definitivo del relleno (además, no forma parte del alcance del trabajo), esta recomendación está sujeta a modificaciones.

Se seleccionó el sistema en profundidad o en excavaciones porque una de las premisas básicas es no alterar significativamente la morfología original del terreno, por lo tanto, se descarta la acumulación de residuos sólidos en superficie.

Esta alternativa es válida si se cuenta con las siguientes condiciones:

- ✓ Nivel freático profundo
- ✓ Sustrato superior relativamente suelto, de fácil excavación
- ✓ Alejados de cuerpos hídricos superficiales
- ✓ Sin afloramientos rocosos o subsuelo de roca o tosca próximas a superficie

La profundidad del relleno depende del nivel del acuífero freático respecto de la superficie del suelo, el cual no ha podido establecerse por carecer de estudios antecedentes. Es un requerimiento ineludible mantener una distancia mínima entre 1 a 2 metros desde la base del relleno hasta el acuífero subterráneo superior.

De acuerdo a la descripción del sitio realizada en el punto 1.2. de este capítulo, aparentemente la napa freática se encuentra a más de 6 m de profundidad.

En función de esta hipótesis, la cual debe determinarse con precisión a través de perforaciones *in situ*, se asume una **profundidad aproximada de 3 m** para el relleno sanitario de la Villa en este sector.

Con respecto a las características litológicas del perfil del suelo del sector, aparentemente se trata de un material superficial suelto, con arcillas, sin basalto o tosca cerca de la superficie, por lo que sería factible su excavación sin mayores problemas a la profundidad recomendada de 3 m. De todos modos, es indispensable una caracterización textural del sustrato a excavar y del material subyacente. De esta manera se contará también con información concreta para establecer la posibilidad y la velocidad de infiltración de contaminantes en profundidad.

El método areal considera la apertura de un área excavada que respete la fisonomía original del terreno, cuyas dimensiones parciales y totales se presentan en el ítem 2.4. *Dimensionamiento*. En líneas generales se plantean 3 fases de 1 m de profundidad cada una para la construcción total del relleno sanitario. Cada fase representa el conjunto de celdas individuales construidas una a continuación de la otra y al mismo nivel o altura. Asumiendo una profundidad total del RSM de 3 m, cada celda perteneciente a una fase de trabajo tendrá una profundidad o altura de 1m. Esto significa que cada fase estará

conformada por el conjunto de celdas de 1 m de profundidad (ver esquema al final de este ítem). Las fases se enumeran de menor a mayor como se indica a continuación:

- ✓ Fase 1: construida sobre la base del relleno. Es la fase más profunda.
- ✓ Fase 2: fase intermedia, construida inmediatamente sobre la fase 1.
- ✓ Fase 3: última fase sobre la cual se realizará la cobertura final del relleno sanitario.

El frente de trabajo del relleno debe partir de los 3 m de profundidad y avanzar hasta completar la primer fase; es decir, se debe rellenar toda la base con celdas adjuntas de 1 m de altura. Una vez finalizada la primer fase (1m de profundidad), se pasa a rellenar la segunda fase, obteniendo una profundidad de 2 m desde la base del relleno. Posteriormente se pasa a construir la tercer fase, también con celdas de 1 m de altura, hasta completar el volumen total del RSM estimado para el período de vida útil.

En la página siguiente se presentan los cortes esquemáticos del relleno sanitario en el sentido longitudinal y transversal. Para su mejor interpretación, el corte longitudinal se desarrolla en función del frente de avance de la disposición final de los residuos.

## CORTES ESQUEMÁTICOS DEL RELLENO SANITARIO

## 2.4. Dimensionamiento

### 2.4.1. Volumen y Área del RSM

El volumen del relleno sanitario está en función de los siguientes factores:

- ✓ Producción diaria de residuos sólidos recolectados
- ✓ Densidad de los residuos sólidos compactados y estabilizados en el relleno sanitario
- ✓ Cantidad de material de cobertura empleada (en este caso aproximadamente el 20% del volumen de los residuos sólidos compactados)

La densidad de los RSU sin compactar obtenida a partir de los muestreos de caracterización efectuados durante el desarrollo del presente estudio, no son suficientes para el cálculo de volumen del RSM. La compactación y la estabilización de los residuos en el relleno incrementan su densidad, es decir, reducen su volumen. Estos datos están estandarizados (Jaramillo, J., 1991) y son los siguientes:

- Densidad de residuos recién compactados: 400 - 500 Kg/ m<sup>3</sup> (se asume el valor de **500 Kg/m<sup>3</sup>**)
- Densidad de los residuos estabilizados: 500 - 600 Kg/ m<sup>3</sup> (se asume el valor de **600 Kg/ m<sup>3</sup>**)

Para el cálculo del área específica del relleno y el área total del sitio para el relleno sanitario se tuvieron en cuenta, los siguientes factores, además de los indicados para el cálculo del volumen:

- ✓ La profundidad estimada del relleno
- ✓ El porcentaje de incremento adicional para las obras civiles y construcciones auxiliares. Se asume un 20% de superficie adicional.

A continuación se presentan los resultados para las tres alternativas de tipos de residuos a disponer en el relleno sanitario, mediante Tablas donde se combinan los datos de proyección poblacional, PPC, proyección de producción diaria y anual, obteniéndose así el volumen de los residuos compactados, estabilizados y del relleno sanitario durante toda la vida útil. Además se calcula el área requerida para el relleno por cada año y el área total considerando un 20% de superficie adicional para instalaciones y obras complementarias (caminos internos, tinglado, sanitarios, cerco perimetral). De este modo, se obtienen los valores de Área del Relleno y el Área Total para el período de vida útil (10 años).







A modo de resumen se presentan las dimensiones más relevantes en relación con la vida útil del relleno sanitario, para cada una de las alternativas de categorías de RSU que podrán disponerse mediante este método.

1. RSM para todos los residuos recolectados y transportados hasta el sitio de disposición final (todas las categorías de residuos)

$$V_{Rsvu} = 8.377 \text{ m}^3$$

$$A_{RS} = 2.792 \text{ m}^2 \text{ (requerida para toda la vida útil)}$$

$$A_T = 3.351 \text{ m}^2 \text{ (0,33 ha) requerida para toda la vida útil}$$

2. RSM para los rechazos generados después de la recuperación de la fracción compostable (principales categorías a disponer: vidrio, plásticos, metales, textiles, patogénicos domiciliarios, peligrosos domiciliarios, fracción de papel y cartón no reciclable ni compostable, fracción de barrido)

Se asume un rechazo del 50% de la categoría de papel y cartón (correspondiente a 40% de tetra-brick y 10% de rechazo del proceso de reciclado). El 50% restante se utiliza en talleres de reciclado y en la elaboración de compost. Por lo tanto, si el total de la fracción de papel es 17 Kg/d, entonces el 50% que se asume como rechazo corresponde a 8,5 Kg/d.

Se asume un rechazo del 30% de la fracción de barrido no compostable

$$V_{Rsvu} = 2.685 \text{ m}^3$$

$$A_{RS} = 895 \text{ m}^2 \text{ (requerida para toda la vida útil)}$$

$$A_T = 1.074 \text{ m}^2 \text{ (0,1 ha) requerida para toda la vida útil}$$

3. RSM para los rechazos generados después de la separación de la fracción recuperable y la fracción compostable (principales categorías a disponer: fracción no recuperable de plásticos, textiles y papel, patogénicos domiciliarios y peligrosos domiciliarios)

Se asumen los siguientes porcentajes de rechazo para las categorías recuperables:

50% rechazo de plásticos

50% rechazo de textiles y madera

50% rechazo de papel y cartón

$$V_{Rsvu} = 1.520 \text{ m}^3$$

$$A_{RS} = 507 \text{ m}^2 \text{ (requerida para toda la vida útil)}$$

$$A_T = 608 \text{ m}^2 \text{ (requerida para toda la vida útil)}$$



La determinación del área del relleno sanitario requerida para la disposición final de los residuos provenientes del saneamiento del basural se efectuó en base a los datos de peso volumétrico promedio de los tres muestreos de caracterización de residuos ( $453 \text{ Kg/m}^3$ ) y la densidad de los residuos estabilizados en el relleno sanitario ( $600 \text{ Kg/m}^3$ ).

Considerando un volumen de  $6 \text{ m}^3$  por caja completa de camión, el peso total es de  $2.718 \text{ Kg}$ . Para una densidad de  $600 \text{ Kg/m}^3$ , corresponde un volumen total de  $4,53 \text{ m}^3$  para los residuos y un volumen de residuos más material de cobertura (20%) correspondiente a  $5,436 \text{ m}^3$ .

Por lo tanto el área de relleno requerida para los residuos provenientes del saneamiento, será:

$$A_{RS} = 1,8 \text{ m}^2/\text{cada camión completo de } 6 \text{ m}^3$$

#### 2.4.2. Dimensiones de celda de trabajo

Se define a la celda de trabajo como la unidad operacional que se obtiene al final de cada jornada de trabajo. La celda está constituida por los residuos compactados manualmente y el material de cobertura que representa aproximadamente el 20% del total de residuos colocados durante la jornada.

Las dimensiones de la celda son: ancho, profundidad y largo. En términos generales, las mismas dependen de los siguientes factores:

- ✓ Cantidad de residuos a disponer
- ✓ Grado de compactación
- ✓ Densidad de los residuos compactados
- ✓ Altura de la celda más cómoda para el trabajo manual
- ✓ Frente de trabajo que permita la descarga de los residuos

Conociendo la generación diaria de la población, la cantidad de residuos que se dispondrán en la celda dependerá de la frecuencia de recolección, la cual es imprescindible fijarla en forma regular. Se recomienda una frecuencia de recolección media (cada 3 días), por lo tanto la celda incluirá los residuos generados durante este período.

La determinación del ancho de la celda debe considerar los vehículos o equipos que se emplearán para el vuelco de los residuos. Se recomienda un ancho que sea aproximadamente el doble que el ancho del equipo utilizado para la disposición final. Asumiendo que el equipo de mayor tamaño será el camión recolector, cuyo ancho corresponde a  $2,25 \text{ m}$  aproximadamente, entonces *el ancho de la celda deberá ser de  $5 \text{ m}$ .*

*La altura o profundidad más aconsejable para el trabajo manual es de  $1 \text{ m}$  (normalmente las celdas presentan una altura entre  $2$  a  $3 \text{ m}$ , cuando se operan con maquinaria pesada).*

Considerando la disposición final de todos los residuos recolectados, para una frecuencia de 3 días, la cantidad media de residuos sólidos es:  $944,88 \text{ Kg} \times 3 = 2.890 \text{ Kg/3días}$  ( $2,9 \text{ ton}$ ). Este valor se obtuvo de los datos generados para el año 1 de vida útil

(2001) del relleno sanitario. Para esta cantidad de residuos, el volumen de la celda de trabajo corresponde a :

$$V_c = \frac{2.890 \text{ Kg}}{500 \text{ Kg/m}^3} \times 1,2 = 5,78 \text{ m}^3$$

Por lo tanto las dimensiones aproximadas de la celda de trabajo para una frecuencia de disposición cada 3 días y un volumen de 5,78 m<sup>3</sup> de residuos sólidos quedan determinadas así:

- ✓ **Ancho: 5 m**
- ✓ **Alto: 1 m**
- ✓ **Largo: 1,2 m**
- ✓ **Área: 5,78 m<sup>2</sup>**

Este tamaño (ver esquema en el *punto 2.3.*) es el máximo (descontando una frecuencia de recolección más alta), estimando la disposición final de todos los residuos recolectados. Los mismos criterios deberán aplicarse para otra frecuencia de recolección (diaria) o para la disposición de una cantidad menor de residuos, en caso de optar por la separación de material compostable y recuperable.

### 3. PREPARACIÓN DEL SITIO Y OBRAS COMPLEMENTARIAS

#### 3.1. *Infraestructura del relleno*

##### 3.1.1. Limpieza y desmonte

Durante la preparación del terreno para la construcción del relleno sanitario se debe efectuar en primer lugar una limpieza general, retirando todo material natural o extraño que se encuentre sobre la superficie del terreno, incluyendo la vegetación. En este sitio el suelo es desnudo, sin vegetación arbustiva o herbácea, por lo que no se requieren tareas de remoción vegetal. Esta práctica incluirá básicamente el despeje de piedras o cualquier otro elemento que obstaculice el trabajo de los equipos pesados de excavación y nivelación. Deberá realizarse un rastrillaje en toda el área del basural (antiguo y actual), tal como se describe en el 8.4. *Limpieza Urbana*, para eliminar la basura dispersa durante tantos años.

##### 3.1.2. Acondicionamiento del terreno

Esta etapa incluye la excavación del terreno, la acumulación del material extraído (para utilizarlo posteriormente como material de impermeabilización de base y taludes laterales y de cobertura de residuos) y la nivelación del suelo de soporte. Es importante recalcar que la excavación del suelo debe realizarse por *etapas*, considerando la vida útil del relleno y la superficie requerida, de acuerdo con las categorías de residuos a disponer. Esta consideración se basa en 3 aspectos significativos:

- Se reduce la erosión hídrica o eólica
- Se evita la pérdida del material de cobertura
- Se minimiza el impacto visual del paisaje

En esta etapa, el trabajo manual es ineficiente y dificultoso, por lo que es necesario contar con maquinaria pesada como retroexcavadora y tractor de orugas. Es la única etapa que requiere la utilización de estos equipos, ya que el resto de las operaciones pueden efectuarse de manera más artesanal con herramientas caseras fabricadas con materiales disponibles en la zona o herramientas relativamente accesibles por su bajo costo. La maquinaria puede solicitarse a organismos provinciales en calidad de préstamo con una frecuencia determinada.

Se recomienda una *frecuencia de excavación cada 3 meses*, etapa en la que se abrirá **un área aproximada de 116 m<sup>2</sup> para un volumen de 348 m<sup>3</sup> de residuos y material de cobertura**, en caso de efectuar la disposición final de todos los residuos recolectados. Este dato se obtuvo del valor calculado en la Tabla 8.4. para el área de relleno requerida para el primer año de vida útil (2001). Por lo tanto, para las sucesivas etapas de apertura del área de excavación deberá considerarse el incremento del volumen indicado en esta tabla.

Si se opta por la disposición de los rechazos generados después de la recuperación de la fracción compostable, se abrirá **un área aproximada de 37,2 m<sup>2</sup> para un volumen de 111,6 m<sup>3</sup> de residuos y material de cobertura**.

En caso de disponer los rechazos generados luego de la separación de las fracciones recuperables y compostables, se requerirá la apertura de **un área aproximada de 21 m<sup>2</sup> para un volumen de 63,2 m<sup>3</sup> de residuos y material de cobertura**.

En todos los casos, la profundidad de la excavación será de **3 m**, según se describió en el apartado sobre dimensiones del relleno sanitario.

Luego de realizar la excavación, en cada etapa, se debe realizar la nivelación del suelo de soporte con maquinaria pesada, de modo de contornear y alisar el terreno.

### 3.1.3. Sistema de control de drenaje superficial

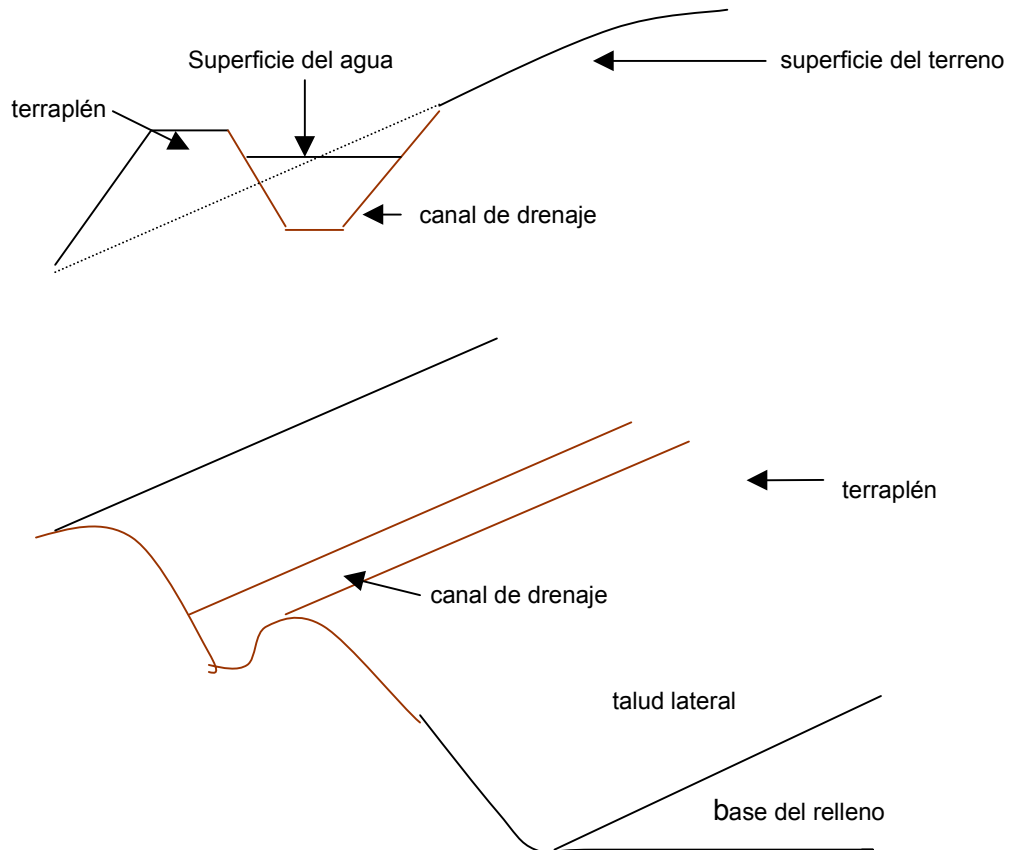
Este sistema forma parte de los requerimientos técnicos primarios a considerar durante el diseño de los rellenos. La función primordial es el manejo de la escorrentía superficial de modo de evitar que el agua fluya hacia y desde el sitio del relleno. Esto implica la construcción y el mantenimiento de sistemas de desvío, conducción, colección, captación, entre otros, del agua de descarga.

Este sistema de manejo permite la protección de cuerpos de agua superficial presentes en el área de influencia del relleno, ya que se previene que el agua de lluvia fluya a través del relleno y drene fuera de sus límites. Además, minimiza la generación de lixiviados en el relleno, pues se reduce el aporte de agua al mismo.

Para la Villa Antofagasta de la Sierra, esta previsión quizá no sea tan significativa dada la aridez del clima que caracteriza a la Puna. Sin embargo, las escasas precipitaciones normalmente se manifiestan en forma torrencial, generando en muchos casos avenidas que arrastran material superficial en el sentido de la pendiente. Por otro lado, la incorporación de este sistema de intercepción y desvío del agua de lluvia evitaría la instalación de un sistema de colección de lixiviados en la base del relleno, ya que este control superficial es suficiente para regiones áridas de elevada evapotranspiración y escasas precipitaciones, pues minimiza los lixiviados.

Los canales se deben construir en todo el perímetro del área, a medida que se avanza en la construcción. Estos canales pueden realizarse sobre la tierra, en forma

trapezoidal, cuyas dimensiones se diseñarán en función de las características climáticas, tipo de suelo, y topografía. En líneas generales, el diseño del canal de desvío deberá ser así:



#### 3.1.4. Sistema de impermeabilización de base y taludes laterales

Este sistema evita o minimiza la infiltración de lixiviados provenientes de los residuos presentes en el relleno o del agua de lluvia que entra en contacto con los mismos. De este modo se reduce el riesgo de contaminación del agua subterránea subyacente.

Las condiciones climáticas de la región y las características de los residuos son los factores más determinantes en la elección de optar o no por un sistema de revestimiento de la base del relleno.

En la Villa las precipitaciones oscilan entre 50 y 300 mm anuales, determinando un clima desértico a semi - desértico de elevada evapotranspiración. Por otro lado, los residuos que se dispondrán en el relleno son de carácter inerte y presentan escaso contenido de humedad. Los residuos putrescibles como los restos de comida o cocina (componente con más humedad) representan aproximadamente un 10% en peso de la totalidad del flujo de residuos, por lo que contribuirían muy poco en la generación de lixiviados. Además, se prevé la utilización de esta fracción para la elaboración de compost, por lo que no debe considerarse en el relleno sanitario.

De todos modos, se recomienda impermeabilizar la base y taludes laterales con una membrana natural de arcilla. Este material aparentemente se encuentra disponible en el sector preseleccionado, existiendo en las inmediaciones posibles zonas de préstamo, como la cantera que actualmente es explotada por los habitantes de la Villa para obtener material para la fabricación de ladrillos de adobe. Se sugiere realizar un ensayo de permeabilidad para determinar su eficiencia. La conductividad hidráulica ideal debe ser igual o menor que  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg cuando se compacta en el campo. La arcilla debe compactarse bien mediante la maquinaria pesada indicada para la nivelación del terreno. Para este caso se recomienda un espesor aproximado de 0,50 m de arcilla, colocándose en capas o franjas de 0,25 m cada una.

### 3.1.5. Sistema de control de lixiviados

En base a los comentarios efectuados con respecto al clima, las características y tipos de residuos a disponer y la previsión de un sistema de intercepción, canalización y desvío de aguas superficiales, el sistema de captación y tratamiento de lixiviados para el RSM de la Villa es muy poco significativo. La presencia de una base impermeable y una distancia superior a los 2m entre la misma y el nivel acuífero freático son suficientes para prevenir la contaminación del agua subterránea.

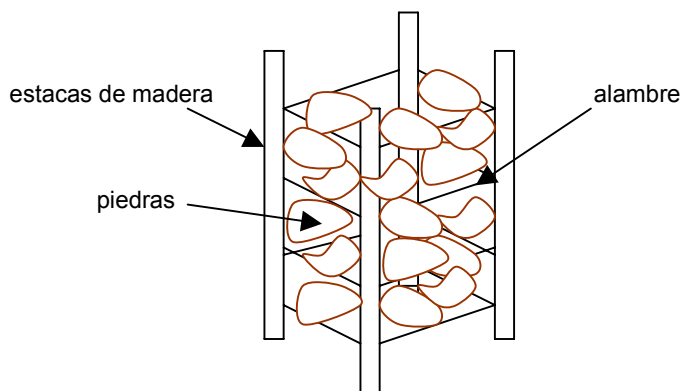
Ya se ha mencionado que los residuos de la zona presentan muy bajo contenido de humedad y las precipitaciones pluviales contribuyen muy poco en la generación de lixiviados.

### 3.1.6. Drenaje de emisiones gaseosas

Este sistema permite el venteo de los gases que se generan durante el proceso de descomposición de los residuos. Si bien estos procesos se reducen prácticamente a un mínimo por tratarse de residuos de baja capacidad de degradabilidad, se recomienda la instalación de chimeneas de venteo pasivo.

Estas chimeneas se irán construyendo en etapas a medida que avance el relleno. Se deben construir en sentido vertical desde la base del relleno hasta la superficie (nivel del terreno original mediante material accesible: piedras, alambre de púas o simple y estacas de madera. Se recomienda un diámetro de 0,30 m aproximadamente y ubicarlas cada 30 - 50 m aproximadamente.

A continuación se presenta un esquema básico de construcción de una chimenea de gases construida en base a piedras.



### 3.2. Construcciones y auxiliares

#### 3.2.1. Caminos de acceso e interiores

Deben abrirse caminos internos en buenas condiciones de transitabilidad, aún en períodos de lluvias torrenciales. Para esto se utilizará la maquinaria indicada para la preparación del sitio (retroexcavadora y tractor de orugas).

#### 3.2.2. Cerco perimetral

El cerco perimetral es un elemento muy importante por su papel como barrera visual, rompevientos, protección y seguridad del relleno, reducción de olores y ruidos.

Se recomienda instalar un cercado de protección de aproximadamente 2 m de altura para prevenir la dispersión de los residuos por los fuertes vientos. Este cerco puede construirse con alambre tejido, complementado con bermas de tierra instaladas contra el viento.

Como barrera visual se recomienda un cerco vivo de especies arbustivas nativas, que podrían obtenerse a través de la implementación de un vivero municipal (ver *Técnica II. Compostaje*).

#### 3.2.3. Señalización

En el acceso principal del área del relleno sanitario se debe instalar un cartel donde se indique claramente la actividad específica que se desarrolla y los responsables de su operación. Se recomienda utilizar materiales del lugar, como maderas y troncos de especies leñosas para el poste. No usar metales o plásticos, pues éstos interfieren bastante con el paisaje. Asimismo, se recomienda instalar en cada uno de los laterales 1 cartel de menor tamaño y con las mismas especificaciones de diseño que las indicadas para el cartel principal, indicando que es una zona de riesgo sanitario.

#### 3.2.4. Patio de maniobras

Esto consiste en una zona de maniobras de vehículos en el frente de trabajo, para facilitar las operaciones de descarga, en caso de hacerlo con el camión u otro vehículo transportador. Se recomienda una superficie aproximada de 200 m<sup>2</sup> (10 x 20).

#### 3.2.5. Obra civil

La descripción de esta construcción general se realiza en el desarrollo de la *Técnica III. Recuperación de Materiales*. En caso de optar solamente por esta técnica alternativa de relleno sanitario para la disposición final de todos los residuos recolectados, la superficie general quedará reducida a la necesaria para el depósito de herramientas, equipos, elementos de seguridad e higiene laboral, principalmente. Se estima una superficie aproximada de 20 m<sup>2</sup>.

#### 3.2.6. Instalaciones sanitarias

Esta instalación prevé mínimamente un sanitario con cámara séptica para el tratamiento de los efluentes cloacales y una pileta para higiene personal de los operarios. Se estima una superficie aproximada de 6 m<sup>2</sup>.

### 3.2.7. Presencia de zona de amortiguamiento

Se denominan zonas de amortiguamiento o zonas buffers, aquellos sectores que permiten cierto aislamiento de la zona donde se localiza el relleno con el entorno inmediato construido.

La presencia de estas zonas es recomendable por cuestiones estéticas, al reducir el impacto visual, y para minimizar los ruidos, olores, y otros impactos potenciales al ambiente. Puede estar constituida por áreas verdes, taludes de tierra, etc.

En el sitio propuesto esta zona de amortiguamiento está presente pues el entorno inmediato está rodeado de cerros que protegen visualmente el paisaje. Además, es un área poco frecuentada por los habitantes de la Villa.

## 4. CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES

### 4.1. *Detalle del proceso*

A continuación se describen las operaciones básicas de rutina del relleno sanitario, las cuales se visualizan en el Diagrama de Flujo N°2, ubicado al final de este ítem.

#### 4.1.1. Ingreso de los residuos a la planta

El ingreso de los residuos se debe efectuar a través de vías de acceso y de caminos internos en buenas condiciones. Una vez dentro de la planta, independientemente de que se realice una preselección de residuos antes de su vuelco (lo cual se describirá en el desarrollo de la *Técnica III - Recuperación de Materiales*), los mismos deben ser dispuestos en el relleno el mismo día de su ingreso. No deben ser almacenados para evitar voladuras, olores, presencia de vectores patógenos, etc. Ante un eventual que requiera su almacenamiento, el mismo no deberá superar las 24 hs. desde su arribo a planta.

#### 4.1.2. Vuelco de los residuos

Esta operación se realizará mediante los vehículos empleados para la recolección y transporte (por ejemplo, el camión si se disponen todos los residuos recolectados) o carretillas de mano para los rechazos generados después de la clasificación y recuperación de materiales. Los residuos deben disponerse manualmente en capas delgadas de unos 0,40 - 0,50 m de espesor, empleando herramientas sencillas. Para esto, los operarios se colocarán sobre los residuos dispuestos en el interior del relleno y, utilizando palas, horquillas y rastrillos, procederán a dispersar los residuos en las capas indicadas.

#### 4.1.3. Compactación manual de los residuos

Una vez volcados los residuos, cada una de las capas deben ser compactadas manualmente. Para esta tarea se utilizarán herramientas de albañilería como pisones de mano muy sencillos y rodillos compactadores, fáciles de confeccionar con materiales disponibles en la zona (la descripción se realiza en el *punto 5. Equipamiento e insumos*). Se obtendrá una densidad relativamente baja (entre 450 - 500 Kg/m<sup>3</sup>), debido a que la compactación es manual.

#### 4.1.4. Cobertura de la celda de trabajo

La cobertura de los residuos que se realiza al final de la jornada de trabajo cumple varias funciones, siendo las más importantes, evitar su dispersión por el viento, el control de malos olores, la reducción de lixiviados (puede reducirse la infiltración de agua de lluvia), el control de incendios, la prevención del contacto humano con los residuos y la reducción de vectores y plagas (aves, roedores, insectos, etc.).

Esta operación se efectuará mediante carretillas para transportar y volcar el material de cobertura, aprovechándose el extraído de la excavación del área de trabajo y acumulado cerca de la zona de trabajo. El material se esparcirá con palas y rastrillos. La cantidad de material de cobertura se calcula en un 20% en volumen respecto de los residuos sólidos volcados durante la jornada de trabajo. Se calcula un espesor aproximado de 15 cm para el material de cobertura de cada celda de trabajo.

#### 4.1.5. Compactación manual del material de cobertura

La compactación del material de cobertura se efectuará del mismo modo que lo indicado para los residuos.

#### 4.1.6. Cobertura final

Una vez concluida la tercer fase del relleno, es decir, la última fase más cercana a la superficie original del terreno, se deberá efectuar una cobertura final del relleno, de manera de cumplir varios propósitos:

- ✓ Proporcionar una barrera física sobre los residuos sólidos enterrados
- ✓ Prevenir el contacto humano con los residuos
- ✓ Minimizar los problemas relacionados con los vectores
- ✓ Controlar malos olores
- ✓ Controlar la erosión que podría exponer a los residuos
- ✓ Reducir la infiltración que contribuye a la generación de lixiviado
- ✓ Proporcionar una base para la posible reutilización del área del relleno sanitario

Para el caso de estudio, se propone una cobertura final de 2 capas:

- a) 1 capa de barrera hidráulica sobre la última celda, de aproximadamente 20 cm, constituida por material de baja permeabilidad. Se recomienda utilizar las arcillas empleadas para la cobertura diaria de las celdas.
- b) 1 capa superficial, sobre la capa anterior, de aproximadamente 60 cm de espesor, constituida por el material superficial de la zona. No se justifica la incorporación de suelo vegetal ya que en este caso el suelo es desnudo.

Los espesores indicados se aconsejan para regiones áridas y semiáridas con elevada evaporación y escasas precipitaciones.





#### 4.2. *Mantenimiento de caminos internos*

Los caminos deben mantenerse en buenas condiciones de tránsito, por lo que es necesario tener materiales a mano como piedras, restos de material de construcción o tierra para la manutención.

#### 4.3. *Mantenimiento general*

Consiste en actividades de rutina de mantenimiento, como puede ser limpieza, desmalezamiento, recolección de residuos sólidos dispersos, mantenimiento de terraplenes y canales periféricos de drenaje superficial, herramientas, etc. Se debe controlar el estado y cantidad de ropa de trabajo y elementos de seguridad e higiene laboral, descriptos más adelante.

#### 4.4. *Manejo Ambiental*

Entre las diferentes tareas que forman parte del funcionamiento del relleno sanitario, se debe incorporar el control de los procesos básicos que ocurren en éste y el monitoreo de variables ambientales. Esto constituye el plan de gestión o manejo ambiental del sistema. Los aspectos más significativos que se deben tener en cuenta en este plan de manejo ambiental, son los siguientes:

##### 4.4.1. Manejo de lixiviados

Este manejo incluye 3 aspectos: minimización, prevención y contención de lixiviados.

La *minimización* requiere el mantenimiento del área activa de las celdas lo más pequeña que sea posible, la presencia de un sistema de drenaje de escorrentía superficial y la cobertura diaria de las celdas de trabajo.

La *prevención* requiere prever una distancia suficiente entre la base del relleno y el nivel del freático, así también como la incorporación de barreras impermeables en la base y taludes laterales.

La *contención* es posible en los rellenos con base impermeable, donde se incorpora una red de canales para colección y bombeo de los lixiviados.

En el caso bajo estudio, el manejo de lixiviados es suficiente mediante la **minimización** y la **prevención**. Es decir, el plan debe incluir:

- ✓ Construcción y mantenimiento de un sistema de canales periféricos para controlar la escorrentía superficial originada por las precipitaciones pluviales (muy escasas y frecuentemente torrenciales).
- ✓ Respetar las dimensiones recomendadas para la celda de trabajo, evitando disminuir la frecuencia de recolección (no superar en lo posible los 3 días de acumulación de residuos).

- ✓ Cubrir los residuos con el material de cobertura al final de cada jornada de trabajo, de manera tal que la celda siempre esté tapada.
- ✓ Determinar concretamente la profundidad del nivel acuífero freático para establecer la profundidad del relleno y la distancia existente entre la base del mismo y el agua subterránea. Nunca la distancia entre ambos deberá ser inferior a los 2 m.
- ✓ Impermeabilizar la base y taludes laterales con una barrera natural realizada con arcilla presente *in situ*. El espesor recomendado está sujeto a modificaciones de acuerdo con los resultados ha obtener del estudio hidrogeológico. En caso de no impermeabilizar la base, nunca la distancia entre esta y el nivel freático será inferior a los 3 m.

#### 4.4.2. Manejo de emisiones gaseosas

Ya se ha indicado que la generación de emisiones gaseosas es mínima, por lo que no es tan significativa la presencia de vías de drenaje natural de los gases. De todos modos, pueden incorporarse construcciones sencillas como las que se indicaron en este capítulo para favorecer la ventilación pasiva.

#### 4.4.3. Manejo de aguas superficiales

La prevención de la contaminación del agua superficial, previo a la instalación y en etapa de funcionamiento, requiere:

- ✓ Localizar el relleno aguas abajo de un curso de agua superficial
- ✓ Respetar distancias mínimas recomendadas entre el relleno y un cuerpo de agua superficial
- ✓ Evitar la instalación del relleno por debajo del nivel de inundaciones
- ✓ Construir y mantener un sistema de drenaje superficial periférico del relleno sanitario para evitar que el agua atraviese el relleno, entre en contacto con los residuos y arrastre contaminación aguas abajo.
- ✓ Controlar la erosión y sedimentación para prevenir la acumulación de sedimentos en vías de drenaje y aguas abajo del relleno.

#### 4.4.4. Monitoreo de aguas subterráneas

Si bien ya se ha indicado que el riesgo de contaminación del agua subterránea, como resultado de la generación e infiltración de lixiviados, probablemente sea muy bajo (en función de las características climáticas y contenido de humedad de los residuos, fundamentalmente), se recomienda la construcción de 2 freatímetros o pozos de monitoreo del nivel freático ubicados aguas arriba y aguas abajo del relleno sanitario respectivamente. De este modo se podrán controlar, prevenir o modificar las características operacionales del sistema.

#### 4.4.5. Control de olores

Las características climáticas de la Puna (escasa humedad, elevada evapotranspiración y fuertes vientos) contribuyen a disminuir las emanaciones odoríferas de los residuos. Durante los muestreos efectuados para la caracterización cuali - cuantitativa de

los mismos, no se percibieron olores fuertes desagradables. De todos modos, el control mínimo requiere:

- ✓ la disposición de los residuos el mismo día que ingresan al área del relleno sanitario (no acumularlos)
- ✓ la cobertura de la celda al final de cada jornada de trabajo.

#### 4.4.6. Control de vectores y plagas

Este plan contempla principalmente:

- ✓ No acumular los residuos sin disponer en el relleno por más de 24 hs.
- ✓ Cubrir los residuos al final de cada jornada de trabajo
- ✓ Mantener la higiene general del lugar
- ✓ Construir y mantener un cerco perimetral para evitar o limitar el ingreso de animales

#### 4.4.7. Control de incendios

Previendo este riesgo es indispensable contar con un matafuegos para el caso de una contingencia. De todos modos, la prevención incluye:

- ✓ Limpieza permanente del lugar para evitar la presencia de basura dispersa que pueda resultar un foco de generación.
- ✓ Cobertura de los residuos al final de cada jornada de trabajo
- ✓ Evitar quemas aisladas de papel, plásticos, etc.
- ✓ Disponer de agua para casos de emergencia

## 5. EQUIPAMIENTO E INSUMOS

### 5.1. *Preparación del sitio*

Las tareas de excavación, acumulación de tierra, nivelación, acondicionamiento de accesos y apertura de caminos internos requiere la utilización de maquinaria pesada, como **retroexcavadoras y tractor de orugas**.

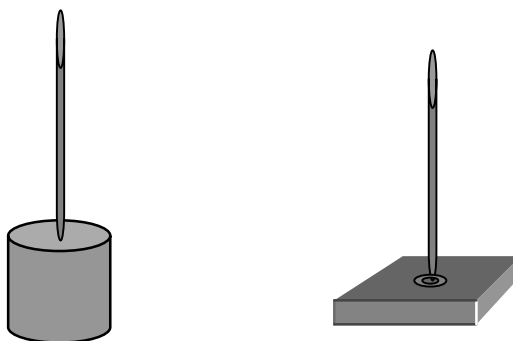
Estos equipos no se utilizarán continuamente sino durante la preparación del sitio de instalación del emprendimiento, y posteriormente en forma periódica para incrementar el área a medida que avanza el frente de trabajo.

Por lo tanto, no es requisito indispensable que el municipio cuente con ellos entre los elementos de su inventario, sino que puede solicitarse su alquiler o préstamo a organismos oficiales.

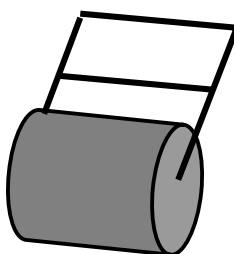
### 5.2. *Operación y mantenimiento*

Las actividades de rutina del relleno sanitario requieren los siguientes elementos y herramientas:

- ✓ **carretillas:** para transporte y vuelco de residuos cuando se manejan pequeñas cantidades. Para el transporte y vuelco de material de cobertura en cada jornada de trabajo.
- ✓ **palas de base ancha:** se utilizan para el manejo de los residuos, para su dispersión dentro del relleno, para cargar material de cobertura.
- ✓ **rastrillos:** se utilizan para dispersar los residuos y el material de cobertura dentro del relleno.
- ✓ **horquillas:** el mismo uso que el indicado para los rastrillos.
- ✓ **pisones de mano:** se utilizan para compactar los residuos dentro del relleno y el material de cobertura. Se pueden fabricar con materiales fácilmente disponibles, como por ejemplo, palos de madera y cemento.



- ✓ **rodillos compactadores:** se utilizan para compactar los residuos dentro del relleno y el material de cobertura. También se pueden construir con materiales disponibles en la Villa. Por ejemplo, tal como se observa en el esquema, utilizando tambores de 200 l vacíos y acondicionados.



- ✓ **ropa de trabajo:** pantalones, camisas y botas de trabajo para cada operario. Es importante destacar que la ropa de trabajo debe quedar siempre en la planta del relleno sanitario. Esto significa que los operarios deben cambiarse al comenzar y finalizar su jornada de trabajo, para evitar el traslado de contaminantes a su

hogares. La responsabilidad de la higiene de la ropa de trabajo quedará a consideración de los funcionarios municipales.

- ✓ **elementos de higiene y seguridad laboral:** mascarillas o barbijos descartables, antiparras, guantes anticortes para cada uno de los operarios, botas, botiquín de primeros auxilios. Los barbijos se deben descartar al finalizar la jornada de trabajo.
- ✓ **elementos generales de limpieza:** baldes, escobas, desinfectantes, trapos de piso, manguera, etc. Para higienizar el tinglado general.
- ✓ **matafuegos para control de incendios**
- ✓ **agua, electricidad y otros servicios:** se requiere agua para bebida, control de incendios, limpieza general, higiene de operarios, control de polvo. para el aprovisionamiento de electricidad es suficiente la instalación de un generador portátil. El tratamiento de las aguas residuales domésticas requiere la instalación de un sistema séptico.

## 6. MANO DE OBRA

El cálculo de mano de obra necesaria depende de varios factores, siendo los más significativos:

- ✓ Cantidad de residuos a disponer
- ✓ Cantidad de material de cobertura
- ✓ Duración de la jornada de trabajo
- ✓ Eficiencia de operarios

Existe una metodología para calcular el número de trabajadores que se requieren para operar un relleno sanitario, pero la misma no puede adaptarse al presente caso, ya que la Villa cuenta con una generación diaria de residuos sólidos sumamente menor a la que se utiliza en este cálculo. Aquí, se parte de una generación de 10 ton/d para una población de 20.000 habitantes, para la cual se necesitan 4 operarios.

En base a la información antecedente y a las tareas principales que deben realizarse en una jornada laboral: transporte y vuelco de residuos sólidos, compactación de residuos, carga y vuelco de material de cobertura, compactación final de la celda de trabajo, puede asumirse un total de **2 operarios** para realizar esta rutina diaria de aproximadamente 6 hs.

Además se requiere **un supervisor general**, que se encargue de verificar el cumplimiento de la rutina de trabajo, las condiciones de seguridad laboral, el estado general de higiene, el control de las tareas de manejo ambiental de la planta.