



**PROYECTO DE FORTALECIMIENTO DE LA CAPACIDAD INSTITUCIONAL
PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
EN LA REPÚBLICA DOMINICANA A NIVEL NACIONAL
FASE 2**

**MANUAL DE OPERACIÓN
SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL
DE RESIDUOS SÓLIDOS**

OCTUBRE 2023



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Este manual ha sido elaborado bajo el proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional para la Gestión Integral de Los Residuos Sólidos en La República Dominicana a Nivel Nacional, Fase 2.

Viceministra de Gestión Ambiental

Indhira de Jesús

Director Programa para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos -PROGIRS-

John Grullón

Jefe de Equipo de Expertos de JICA

Akihiro Murayama

Coordinación Técnica

Maribel Chalas Guerrero, MMARN

Paula De León, Equipo de Expertos de JICA

Elaboración, Redacción y Revisión

Tomoari Sawanobori, Equipo de Expertos de JICA

Paula De León, Equipo de Expertos de JICA

Yvelisse Pérez, MMARN

Elvin López, LMD

Camilo Tapia, LMD

Edición y Diagramación

Jonathan de la Cruz Matías

Allan Pilarte Ferreira

Proyecto Financiado por:

Agencia de Cooperación Internacional de Japón – JICA-

República Dominicana, octubre 2023



MANUAL DE OPERACIÓN SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1 GENERALIDADES	11
1.1 Marco legal para la disposición final en la República Dominicana	11
1.2 Rol de las Instituciones en la Disposición Final en RD	13
1.3 Concepto de operación adecuada	15
2 LINEAMIENTOS PARA LA OPERACIÓN DE UN SDF	16
2.1 Requerimientos para la Operación de un SDF	16
2.2 Recursos Humanos para la operación	17
2.3 Equipamiento para la operación	19
2.4 Operaciones Básicas del SDF	22
2.4.1 Control de acceso, registro y pesaje	23
2.4.2 Inspección de la carga	26
2.4.3 Orientación a la zona de vertido	27
2.4.4 Prácticas de disposición de los residuos: vertido y conformación del relleno sanitario	28
2.4.5 Esparcimiento y compactación de los residuos	31
2.4.6 Instalación del Dique o banquina	34
2.4.7 Cobertura diaria e intermedia	36
2.4.8 Cobertura final	37
2.4.9 Instalación del revestimiento e impermeabilización para nuevas celdas	39
3 MATENIMIENTO Y SUPERVISIÓN DE LAS INSTALACIONES	41
3.1 Mantenimiento	41
3.1.1 Ampliación y mantenimiento de los caminos	41
3.1.2 Mantenimiento del Dique o banquina	42
3.1.3 Instalaciones para Manejo de lixiviados	43

3.1.4 Gestión y control del biogás	43
3.1.5 Gestión y control de las aguas de lluvia: drenaje	44
3.1.6 Verja perimetral	45
3.1.7 Báscula tipo puente (balanza camionera)	45
3.1.8 Oficinas generales y áreas de servicio	45
3.2 Supervisión e inspección	46
3.3 Precauciones para la temporada de lluvias	49
3.4 Prevención y control de incendios	49
3.4.1 Tipos de incendios	50
3.4.2 Identificación de incendios subterráneos	50
3.4.3 Medidas de prevención y control de incendios	51
3.4.4 Red de contactos de emergencia	52
3.5 Prácticas operativas recomendadas	52
4 MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL DURANTE LA OPERACIÓN DEL SDF	54
4.1 Control de impactos visibles durante la Operación	54
4.2 Monitoreo Ambiental	56
4.2.1 Monitoreo de las aguas subterráneas	56
4.2.2 Monitoreo de las aguas superficiales	58
4.2.3 Monitoreo del aire	58
4.2.4 Monitoreo de Ruido	59
5 ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE COSTOS RELATIVOS A LA OPERACIÓN	61
6 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	64

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de ubicación de los SDF existentes en RD según Levantamiento 2021.	10
Figura 3. Equipos livianos para carga y compactación de material respectivamente.	19
Figura 4. Distribución área de entrada del SDF.	24
Figura 5: Explotación de un relleno sanitario y conformación típica de una celda.	28
Figura 6. Vertido por el Método de Trinchera.	29
Figura 7: Conformación de la celda por el Método de Área.	29
Figura 8: Conformación de una celda por el método combinado.	30
Figura 9. División del frente de trabajo dentro de la celda (celdas diarias).	31
Figura 10. Compactación con alto número de pasadas.	33
Figura 11. Importancia del espesor de carga.	33
Figura 12. Importancia del número de pasadas.	34
Figura 13. Esquema de un dique o banquina tipo terraza.	35
Figura 14. Aplicación de la cobertura intermedia.	36
Figura 15. Esquema de la cobertura diaria con material adecuado.	37
Figura 16. Esquema de la cobertura final.	38
Figura 17: Esquema del Sistema de impermeabilización requerido en cada celda.	40
Figura 18. Red de contactos de emergencia para un SDF.	52
Figura 19. Esquema de un pozo para el monitoreo de las aguas subterráneas.	57
Figura 20. Determinación del Alcance de la actividad.	62
Figura 21. Determinación del Alcance del Costo.	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Necesidades de personal en función del tipo de SDF.	18
Tabla 2. Función de las herramientas.	20
Tabla 3. Equipos o maquinarias recomendadas para la operación de un SDF.	21
Tabla 4. Densidad de los residuos sólidos.	25
Tabla 5. Frecuencia inspección de instalaciones.	48
Tabla 6. Extracto tabla parámetros medibles según Normas ambientales para la calidad del agua.	57
Tabla 7. Extracto tabla límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales en masas de agua superficiales	58
Tabla 8. Normas de calidad del aire.	59
Tabla 9: Niveles de emisiones de ruidos máximos permisibles en decibeles (dB) (A).	59
Tabla 10: Regulaciones para actividades específicas.	60
Tabla 11. Frecuencia recomendada de monitoreos ambientales.	60
Tabla 12. Costos operativos a considerar.	61
Tabla 13. Costos y tarifas servicio disposición final.	63

TABLA DE FOTOS

Foto 1. Puerta de control de acceso al SDF de Azua (MANCOM).	23
Foto 2. Registro de peso computarizado relleno sanitario ASINORLU en El Salvador.	25
Foto 3. Colocación de material y esparcimiento de residuos, SDF de Azua, RD.	32
Foto 4. Compactación de los residuos con equipo.	34
Foto 5. Compactación de los residuos con equipo.	34
Foto 6. Instalación de Dique para un área de depósito de residuos.	35
Foto 7. Vista cobertura final y capa vegetal en un relleno.	39
Foto 8. Problemas de erosión en el dique debido a fuertes lluvias.	41
Foto 9. Izquierda, Fuga de lixiviados. Derecha, Recirculación de lixiviados en la masa de residuos.	42
Foto 10. Instalación para drenaje de aguas pluviales en un SDF en hormigón.	44
Foto 11. Edificio administrativo Relleno Sanitario Tarapoto, Perú.	46
Foto 12. Identificación de incendios superficiales y subterráneos.	50

Glosario de abreviaturas y acrónimos

ADN	Ayuntamiento del Distrito Nacional
APP	Alianza Pública-Privada
CAS	Consideraciones Ambientales y Sociales
ET	Estación de Transferencia
E/F	Estudio de Factibilidad
FEDOMU	Federación Dominicana de Municipios
FOCIGIRS	Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional para la gestión Integral de los Residuos sólidos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIS	Sistema de Información Geográfica
GIRS	Gestión Integral de residuos sólidos
GPC	Generación per Cápita
LMD	Liga Municipal Dominicana
MEPyD	Ministerio de Economía Planificación y Desarrollo
MMARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
MIREX	Ministerio de Relaciones Exteriores
MIRS	Manejo Integral de los residuos sólidos
MRS	Manejo de Residuos Sólidos
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PO	Plan de Operaciones
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente
PROGIRS	Programa para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos del MMARN
RD	República Dominicana
RS	Residuos sólidos
RSM	Residuos sólidos municipales
RSU	Residuos sólidos urbanos
SINGIR	Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos
SDF	Sitio de Disposición Final

INTRODUCCIÓN



En la República Dominicana, la mayoría de los sitios de disposición final (SDF) son vertederos a cielo abierto operados de manera inadecuada. Esta situación provoca problemas ambientales y sociales. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) ha comenzado a establecer los instrumentos regulatorios relacionados directamente con la gestión de los residuos sólidos, luego de promulgada, en el año 2020, la Ley 225-20, primera ley específica en gestión de residuos sólidos. En el año 2021 se promulgó el Reglamento 320-21, Reglamento General para la aplicación de la Ley 255-20. Además, también en el 2021, MMARN emitió la Resolución 0036-2021 sobre el Plan de Regularización de SDF Existentes.

Bajo el escenario anterior, es necesaria la inclusión de manuales técnicos que especifiquen los requerimientos bajo los cuales los promotores y operadores de los SDF, ya sea el gobierno local y/o una empresa privada, puedan llevar a cabo la construcción, operación, rehabilitación o cierre adecuados para los SDF existentes.

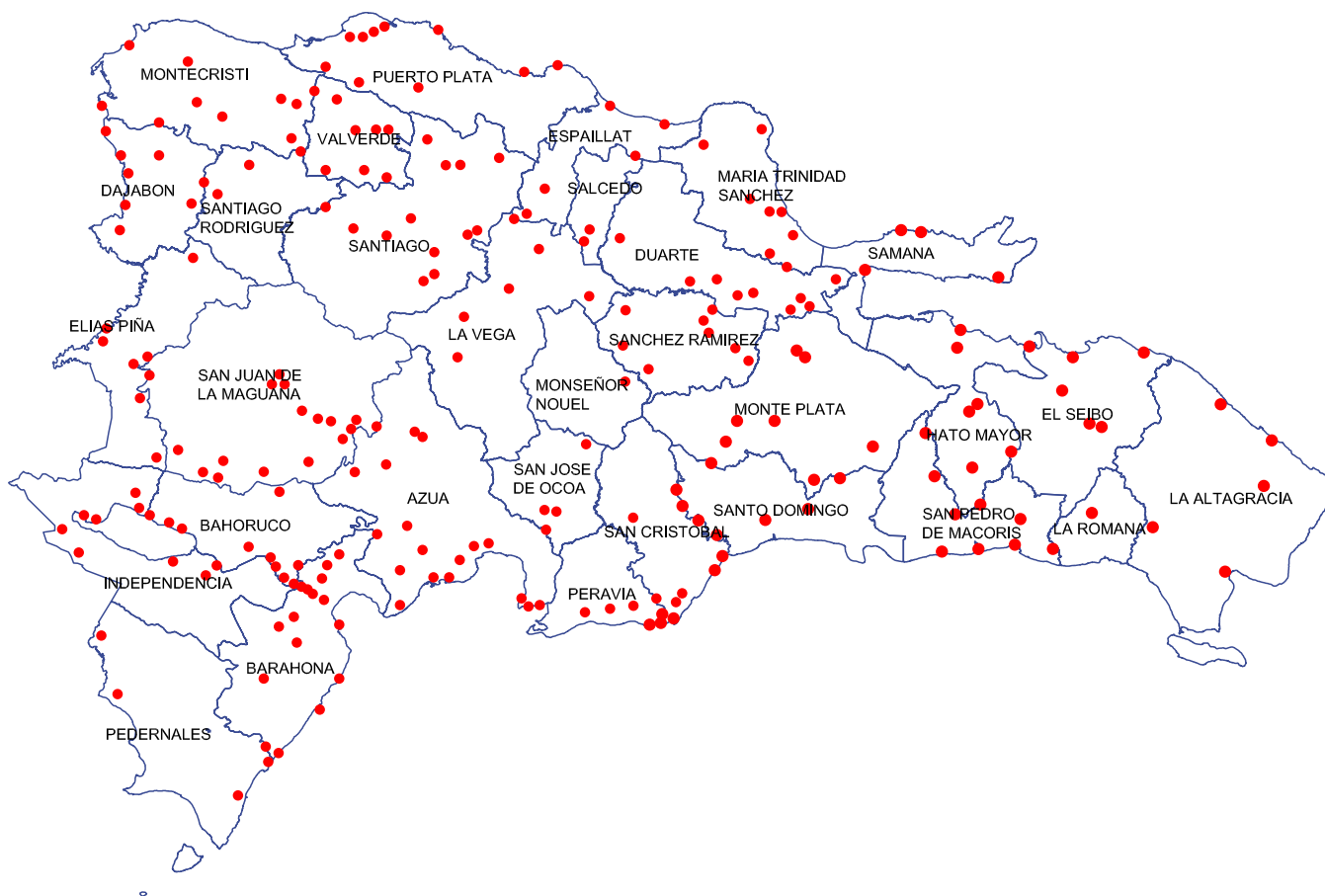
Con la finalidad de proveer una herramienta de apoyo para la planificación, diseño, construcción y operación de sitios de disposición final controlados, así como el cierre y la rehabilitación de los vertederos a cielo abierto existentes, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales se complace en poner este documento en manos de las alcaldías y demás instituciones del país, responsables directas del manejo de los residuos sólidos, a fin de contribuir a la creación de las capacidades necesarias y, de esta manera, aunar esfuerzos decisivos para transformar la situación de uno de los más graves problemas ambientales que tiene hoy la República Dominicana.

En el año 2021, con el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN) realizó el levantamiento nacional sobre la situación actual de los sitios de disposición final existentes (SDF) en la República Dominicana. Según los resultados de la encuesta, se confirmaron 240 SDF en 158 municipios (incluido el Distrito Nacional) y 235 Distritos Municipales (DM), de los cuales 226 SDF son vertederos a cielo abierto. La mayoría de los SDF existentes en la República Dominicana requieren un cierre o rehabilitación para cumplir con la legislación.

De esos 240 SDF identificados, alrededor del 85% son gestionados de forma independiente o conjunta por menos de 2 Municipios/DM y operan con importantes deficiencias.

Por citar algunos de los problemas encontrados, hay pocos SDF implementando medidas contra los gases generados por los residuos y los lixiviados, y muchos municipios confirmaron que reciben constantes quejas de la comunidad por la existencia de humo y malos olores en sus SDF.

La mayoría de los SDF han generado contaminación ambiental y han causado daños durante mucho tiempo después de que finalizan sus operaciones. Dada las malas prácticas actuales durante la operación de los SDF, las causas de la contaminación ambiental, como los lixiviados y los gases, se generan continuamente en la zona de vertido.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 1: Mapa de ubicación de los SDF existentes en RD según Levantamiento 2021.-

La operación de estos sitios necesariamente implica considerar requerimientos técnicos mínimos que incluyen la construcción de instalaciones, la cobertura de suelo, las instalaciones para la ventilación de gases, entre otras. Además, la operación y el mantenimiento de esas instalaciones y la gestión del SDF debe continuar incluso después de clausuradas las operaciones de disposición de residuos.

No importa donde se ubique ni cuando se vaya a establecer el SDF nuevo, es imprescindible mejorar la operación del SDF existente, ya que este último deberá utilizarse durante aproximadamente 6 años después de tomada la decisión del cierre del vertedero actual. El período de uso del SDF existente dependerá del proceso de desarrollo del SDF Nuevo.

Este Manual de Operación será aplicable para la operación de los SDF donde MMARN lo determine adecuado, según el proceso requerido en su procedimiento administrativo. Los SDF aprobados consistirán SDF existentes que cumplen con una operación controlada, incluidos SDF rehabilitados.

1. GENERALIDADES

1.1 Marco legal para la disposición final en la República Dominicana

La República Dominicana cuenta con un amplio marco legal y jurídico relacionado, sea de forma directa o indirecta, con la disposición final de los residuos sólidos urbanos, tal y como definidos en la nueva Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos¹.

(1) La Constitución de la República Dominicana

El Art. 66, en su párrafo 2, establece la protección del medio ambiente como un derecho colectivo; en tanto que Art. 67 indica que el Estado tiene el deber de “prevenir la contaminación, proteger y mantener el medio ambiente en beneficio de las generaciones presentes y futuras”, al mismo tiempo que consagra el derecho de todos a “vivir en un medio ambiente sano”. Este artículo aplica ampliamente a la disposición final, ya que los vertederos a cielo abierto afectan la calidad del aire, del suelo/subsuelo y de los cursos superficiales de agua.

(2) Estrategia Nacional de Desarrollo (Ley 1-12)

El cuarto eje estratégico tiene como objetivo general el manejo sostenible del medio ambiente, encontrándose entre los objetivos específicos, el No. 4.1.3 que indica: desarrollar una gestión integral de desechos, sustancias contaminantes y fuentes de contaminación. Concretamente en el tema que nos ocupa la línea de acción No. 4.1.3.2 señala: Ampliar la cobertura de los servicios de recolección de residuos sólidos, asegurando un manejo sostenible de la disposición final de los mismos y establecer regulaciones para el control de vertidos a las fuentes de agua.

(3) Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00)

Promulgada el 18 de agosto del año 2000, el Art. 15 establece los objetivos particulares de la Ley, entre los cuales el acápite (7) indica: Propiciar un medio ambiente sano que contribuya al sostenimiento de la salud y prevención de las enfermedades. Una disposición final correcta a largo plazo es un pilar para el logro de este objetivo.

(4) Ley General de Gestión Integral y Coprocesamiento de Residuos Sólidos (Ley 225-20)

Esta Ley, promulgada en octubre del 2020, constituye un gran logro para el país, luego de alrededor de 10 años de que el primer proyecto fuera introducido al Congreso. Tiene como objetivo prevenir la generación de residuos, así como establecer un régimen jurídico en la gestión integral para fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y valorización, así como regular los sistemas de recolección, transporte, barrido; sitios de disposición final, estaciones de transferencia, centros de acopio, plantas de valorización, para garantizar el derecho de todos a vivir en un ambiente sano, protegiendo el bienestar de la población, así como reduciendo los “GEI” emitidos por los residuos.

1. La Ley 225-20 sustituye la terminología de residuos sólidos municipales por residuos sólidos urbanos.

Cabe destacar la creación en esta Ley de un mecanismo financiero, el Fideicomiso para la Gestión integral de Residuos, para fortalecer la implementación de la GIRS en todas sus etapas y aspectos complementarios; incluyendo financiar el establecimiento de nuevas infraestructuras de manejo de residuos, entre las cuales los rellenos sanitarios; así como apoyar la sostenibilidad financiera durante la operación, asegurando un pago mínimo. Muy atado a este punto, la Ley establece la obligatoriedad del cobro, por parte del ayuntamiento o junta de distrito municipal (Art. 142), por el servicio completo de manejo de residuos que incluye recolección, transporte, transferencia y disposición final.

Dentro de la Ley 225-20, también se crea el Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos -SINGIR-, como un instrumento de gestión que propicia la coordinación interinstitucional y municipal, teniendo por objeto generar recomendaciones para la gestión integral de los residuos en los distintos ámbitos del gobierno, a efectos de lograr la homologación nacional en la gestión integral de los residuos, la cobertura total de los servicios, la disminución de riesgos y pasivos ambientales.

La Ley 225-20 ordena la preparación del Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos -PLANGIR-, con el propósito de establecer un marco para las prioridades, lineamientos y metas que deberán incluir los Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos -PMGIR- y programas sectoriales. Asimismo, ordena la preparación del Programa Nacional de Remediación y Rehabilitación de Sitios Contaminados, que permitirá establecer las acciones inmediatas para mitigar la contaminación en los vertederos existentes.

Cabe destacar la creación en esta Ley de un mecanismo, el Fideicomiso para la Gestión integral de Residuos, para fortalecer la implementación de la GIRS en todas sus etapas y aspectos complementarios; incluyendo financiar el establecimiento de nuevas infraestructuras de manejo de residuos, entre las cuales los rellenos sanitarios; así como apoyar la sostenibilidad financiera durante la operación, asegurando un pago mínimo. Muy atado a este punto, la Ley establece la obligatoriedad del cobro, por parte del ayuntamiento o junta de distrito municipal (Art. 142), por el servicio completo de manejo de residuos que incluye recolección, transporte, transferencia y disposición final.

Dentro de la Ley 225-20, también se crea el **Sistema Nacional para la Gestión Integral de los Residuos -SINGIR-**, como un instrumento de gestión que propicia la coordinación interinstitucional y municipal, teniendo por objeto generar recomendaciones para la gestión integral de los residuos en los distintos ámbitos del gobierno, a efectos de lograr la homologación nacional en la gestión integral de los residuos, la cobertura total de los servicios, la disminución de riesgos y pasivos ambientales.

La Ley 225-20 ordena la preparación del **Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos -PLANGIR-**, con el propósito de establecer un marco para las prioridades, lineamientos y metas que deberán incluir los **Planes Municipales para la Gestión Integral de Residuos -PMGIR-** y programas sectoriales. Asimismo, ordena la preparación del **Programa Nacional de Remediación y Rehabilitación de Sitios Contaminados**, que permitirá establecer las acciones inmediatas para mitigar la contaminación en los vertederos existentes.

(5) Ley de Planificación Urbana (Ley 6232).

La “oficina de planificación urbana” como órgano técnico, asesor y consultor dentro de los ayuntamientos, es responsable de la emisión de los permisos para la construcción, incluyendo obviamente la instalación de un relleno sanitario.

(6) Ley de Planificación e Inversión Pública (Ley 498-06).

Crea el Sistema Nacional de Planificación e Inversión Pública. Los ayuntamientos pueden formular proyectos de infraestructura para la disposición final de residuos sólidos urbanos y acogerse a financiamiento, a través de la inclusión de estas obras en el presupuesto nacional.

(7) Ley sobre el Distrito Nacional y los Municipios (Ley 176-07).

El artículo 19, en su apartado (f), ordena a los municipios “Regular y gestionar la protección de la higiene y el saneamiento público para garantizar el saneamiento ambiental”. Mientras que el (m), ratifica la competencia de los municipios en los servicios de limpieza y ornato público, recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

(8) Procedimiento de Evaluación Ambiental

Define categorías para procesos y/o instalaciones relativas al manejo de los residuos sólidos, según “el impacto ambiental potencial o bien el riesgo ambiental y/o a la introducción de modificaciones nocivas o notorias al paisaje y/o a los recursos culturales del patrimonio nacional”. Indica que las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos para poblaciones de más de 100,000 habitantes-equivalentes caen en categoría A, en tanto que para poblaciones menores caen en categoría B.

(9) Norma para la Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos No Peligrosos

Esta norma emitida en junio de 2003 y modificada en febrero 2009, establece los lineamientos para la gestión de los residuos sólidos urbanos no peligrosos y especifica los requisitos sanitarios que deben cumplirse en el almacenamiento, la recolección, el transporte y la disposición final Rol de las Instituciones en la Disposición Final en RD

La responsabilidad del manejo integral de los residuos sólidos es interinstitucional y debe ser asumida por todos los integrantes de la sociedad. El generador es el responsable del manejo de los residuos desde su generación hasta su disposición final y las instituciones deben cumplir con el rol asignado por la Ley:

1.2 Rol de las Instituciones en la Disposición Final en RD

La responsabilidad de la gestión integral de los residuos sólidos es interinstitucional y debe ser asumida por todos los integrantes de la sociedad. El generador es el responsable del manejo de los residuos desde su generación hasta su disposición final y las instituciones deben cumplir con el rol asignado por la Ley:

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MMARN)

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es el organismo rector de la gestión del medio ambiente, los ecosistemas y de los recursos naturales, para que cumpla con las atribuciones que de conformidad con la legislación ambiental en general corresponden al Estado, con el fin de alcanzar el desarrollo sostenible.

De conformidad con su objetivo y funciones, el MMARN es la autoridad rectora de la política nacional y la regulación de la gestión de residuos, así como de aplicación en materia de residuos, con potestad para regular, dirigir y controlar la aplicación de la Ley 225-20. Como se mencionó en el acápite anterior, dicha Ley también ordenó la creación del SINGIR y el MMARN asume la Secretaría del mismo.

(2) Fideicomiso para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Presidido por el MMARN, la Ley 225-20 ordena la creación de un Fideicomiso como herramienta financiera para operar y gestionar el fondo destinado a la gestión integral de residuos sólidos, a la operación de estaciones de transferencia, vertederos y rellenos sanitarios, así como el cierre de vertederos a cielo abierto y la remediación y rehabilitación de sitios contaminados, en virtud de lo establecido en dicha Ley. Su objetivo principal es gestionar adecuadamente los montos recaudados provenientes de la Contribución Especial para la Gestión de Residuos Sólidos, establecida en el mismo instrumento, y otros fondos provenientes de las tarifas en las estaciones de transferencia y vertederos. Este fideicomiso ha sido denominado desde el año 2021 como **DO Sostenible**.

(3) Ayuntamientos y Juntas de Distritos Municipales

Son responsables por la gestión de los residuos municipales, de la limpieza pública y la calidad ambiental de su jurisdicción. Es su responsabilidad establecer y aplicar en el ámbito de su demarcación, el Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos (PMGIR), con la participación de representantes de los distintos sectores sociales, compatibilizando con las políticas de desarrollo local y nacional, así como de establecer un sistema de cobro por concepto del manejo de los residuos, entre otras responsabilidades.

(4) Liga Municipal Dominicana

La Ley instruye a este organismo, que agrupa los municipios y Juntas de Distritos Municipales del país, un rol de acompañamiento importante, conjuntamente con el MMARN, para la elaboración de los Planes municipales para la Gestión de los Residuos Sólidos, como miembro del Consejo del fideicomiso y en el establecimiento de las tasas de servicio, incluida la correspondiente por la disposición final de los residuos.

1.3 Concepto de operación adecuada

La gestión de un SDF es una actividad muy compleja. Si bien la operación fundamental consistirá en recibir y disponer adecuadamente los residuos, existen otras actividades complementarias que contribuirán al buen funcionamiento del SDF.

Una operación controlada o adecuada, se refiere a una condición de operación y funcionamiento que cumpla con el reglamento técnico establecido para un SDF. En este manual se describe de manera sencilla, cómo cumplir con la operación, mantenimiento y monitoreo de las instalaciones en básicas y complementarias para un SDF, que incluyen:

- Acceso controlado
- Vertido de residuos en el frente de trabajo del relleno
- Cobertura de suelo diaria o al menos 3 veces por semana
- Instalaciones para ventilación de gases
- Caminos o vías internas
- Sistema de drenaje para las aguas pluviales
- Sistema de control de lixiviados
- Verja perimetral y puerta de acceso.

La operación y el mantenimiento adecuado de un SDF son necesarios para:

- Evitar que el relleno sanitario se convierta en un vertedero a cielo abierto.
- Reducir los impactos negativos potenciales en aire, agua y suelo.
- Minimizar o eliminar los impactos hacia las propiedades adyacentes.
- Incrementar la capacidad volumétrica y ampliar al máximo la vida útil.
- Establecer y mantener buenas relaciones públicas.
- Reducir los conflictos con las instancias reguladoras o normativas.
- Reducir accidentes, demandas e indemnizaciones.
- Satisfacer las necesidades de disposición final de residuos sólidos de la región.

2. LINEAMIENTOS PARA LA OPERACIÓN DE UN SDF

Un relleno sanitario diseñado cuidadosamente puede convertirse en un vertedero a cielo abierto, si no es operado adecuadamente. Cada instalación destinada para relleno sanitario tiene características únicas que solo pueden ser aprendidas mediante el conocimiento, la experiencia y el continuo entrenamiento.

Un SDF correctamente operado, permitirá reducir las posibilidades de que se produzcan impactos ambientales mayores a los esperados en instalaciones de este tipo, garantizando:

- Mejor protección del medio ambiente: por el drenaje y tratamiento de aguas lixiviadas, ventilación de gases por instalaciones adecuadas, instalación de suelo de cobertura.
- Mayor seguridad para los trabajadores: pendientes de trabajo adecuadas y compactación más nivelada de los residuos para tener menor riesgo de deslizamientos y menor contaminación en el lugar de trabajo.
- Ventajas económicas para el municipio: Con una adecuada gestión del SDF se puede aprovechar al máximo el suelo. La compactación de residuos y la construcción planificada prolongan la vida útil del relleno sanitario y permiten un uso más prolongado del terreno.
- Menos molestias y contaminación para los potenciales ciudadanos afectados: Control de polvo, olores, insectos, roedores, etc.

2.1 Requerimientos para la Operación de un SDF

El procedimiento de operación para un SDF puede variar, dependiendo de diferentes factores, entre los que se pueden citar el tipo de relleno, el clima, las cantidades de residuos depositados, tipos de residuos por recibir (si tiene alto contenido de orgánicos, valorizables, etc.), y por la regulación a cumplir. Sin embargo, se pueden establecer ciertas actividades que son muy similares para todos los SDF, como una guía para quienes deben encargarse de su adecuado funcionamiento.

Un factor determinante para la operación de un SDF es tipo de sistema que se haya seleccionado. Según el método de operación, los rellenos sanitarios pueden ser: manuales o mecanizados, criterios que fueron definidos en la Ley 225-20 según la población a servir (mayor o menor a 15,000 habitantes). El otro tipo se refiere al proceso de descomposición, semiaeróbico o anaeróbico, que indica la presencia o no de oxígeno en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos una vez depositados, compactados y cubiertos; dando lugar a una composición diferente en el biogás resultante de dicho proceso.

Para los fines de este Manual, cuando se indica el término “relleno manual” se refiere a la operación con equipos mecánicos livianos.

En todo caso, un SDF bien manejado debe contar con un Plan de Operaciones (PO) y desarrollo futuro. Esos planes definirán de manera clara y precisa, cómo se desarrollará un proyecto de relleno sanitario, abarcando desde la fase de construcción de la primera celda de residuos sólidos hasta la fase de la clausura o cierre final del sitio.

El PO deberá contener como mínimo instrucciones sobre los siguientes aspectos:

- Manejo de los residuos durante la recepción y colocación en el frente;
- Dirección de flujo del tráfico;
- Excavación, transporte y colocación del material de cobertura;
- Inspección diaria del sitio y mantenimiento;
- Registro rutinario de la cantidad de residuos que ingresa en los vehículos recolectores.

2.2 Recursos Humanos para la operación

La cantidad y cualificación del personal requerido para el funcionamiento de un SDF depende de múltiples factores, entre los cuales podemos resaltar:

- Tamaño (superficie) del SDF
- Cantidad diaria de residuos depositados
- Disponibilidad de material de cobertura (qué tan lejos del SDF)
- Tipo de SDF (manual o mecanizado)
- Legislación ambiental vigente (grado de exigencia de las normas ambientales).
- Días laborables y duración de la jornada laboral en el SDF (si se trabaja de lunes a viernes y también los sábados y domingos, un solo turno o más).

La siguiente tabla presenta los requerimientos de personal, en cantidad y calificación, así como la tarea principal, según el tipo de SDF:

Tabla 1. Necesidades de personal en función del tipo de SDF.

Posición	Tarea	SDF mecanizado pequeño-mediano	SDF mecanizado grande	SDF Manual
		16 a 40 tons/día	Más 40 tons/día	Menos de 15 tons/día
Gerente (1)	Gestionar las operaciones del vertedero	0.5 – 1	1	0.5 - 1
Subgerente	Asistencia al gerente en el funcionamiento del SDF	0	1	0
Técnico de laboratorio	Toma de muestras y procesamiento para los análisis de laboratorio	0	1	0
Responsable de la balanza	Registro y control del pesaje de los camiones	1	2	0
Conductor del tractor compactador	Conducir el equipo compactador	1 – 2	3	0
Conductor de equipos pesados	Conducir camiones u otros equipos pesados según sea necesario	1 – 2	2 – 3	0
Técnico en reparación de vehículos	Mantenimiento y reparación de vehículos.	0	1	0
Trabajador de reparación de vehículos	Mantenimiento y reparación de vehículos.	1	1	0
Trabajador del SDF	Construcción de chimeneas Mantenimiento de las instalaciones de drenaje Mantenimiento de la planta de tratamiento de lixiviados	2-3	3-6	2-8
Guardia de seguridad	Presencia continua en el sitio Prohibir la entrada a personas no autorizadas Prohibir y controlar la entrada de animales Registrar en la báscula puente Guiar los camiones a la zona de vertido	1	2	1

(1) Según sea necesario, puede trabajar a medio tiempo.

Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador. 2002

La protección de los trabajadores en el SDF es de gran importancia, incluyendo a los conductores de los equipos. Se recomienda considerar:

- Uniforme (al menos 2 monos por año)
- Guantes (deben renovarse 2 o 3 veces al año o más, dependiendo del uso)
- Botas de seguridad con puntera y suela reforzada de acero como se usa en la industria pesada y algunos sitios de construcción. Estas botas son costosas, pero protegen al trabajador contra objetos punzantes como vidrios rotos, metales o jeringas. Si no es posible adquirir este tipo de botas, al menos se deben proporcionar botas de goma a los trabajadores.
- Chalecos reflectivos
- Mascarilla para proteger contra el polvo

2.3 Equipamiento para la operación

El funcionamiento de un SDF requiere de maquinarias o equipos especializados cuya selección se realiza teniendo en cuenta fundamentalmente:

- Cantidad de residuos
- Compactación de residuos sólidos requerida
- Material de cobertura
- Método de eliminación de los RSU
- Condiciones de trabajo en el sitio

A grandes rasgos, las funciones básicas de los equipos en un SDF son el empuje, nivelación, compactación y cobertura. Deben ser equipos resistentes porque las condiciones para su uso son muy difíciles. A manera detallada, las funciones del equipamiento se enfocarán en la ejecución de las siguientes tareas:

- Preparación del sitio.
- Manejo diario de residuos en el frente (área de tiro), que incluye traslado y compactación de residuos vertidos.
- Excavación, transporte e instalación de material de cobertura diaria.
- Instalación y compactación de un material de cobertura final.
- Actividades de mantenimiento del sitio.

En principio, las operaciones pueden ser manuales o mecanizadas, pero el uso de equipos pesados, por su eficiencia en cuanto a la rapidez en la ejecución de las tareas y a los resultados obtenidos, han hecho que su uso sea prácticamente imprescindible, ya sea diariamente o algunas veces por semana en un SDF. El uso de estos equipos pesados difícilmente pueda compararse con el uso de las herramientas manuales o livianas. En este manual se recomienda que, si el operador del SDF no puede adquirir equipos propios, al menos planifique la renta de un equipo que le permita ejecutar las operaciones básicas una vez por semana como mínimo.

En la figura 3 se muestra un compactador manual y un cargador frontal pequeño para los SDF en donde se considere una operación manual del SDF:



Figura 3. Equipos livianos para carga y compactación de material respectivamente.

La tabla 2 muestra el uso de herramientas para la operación del SDF que, aunque se opere con equipos mecánicos, pudieran servir para tareas específicas de la operación diaria:



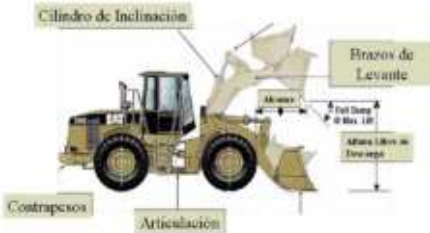
Tabla 2. Función de las herramientas



Utensilio	Uso
Pala	• Carga, descarga y eliminación de residuos sueltos
Azada	• Carga, descarga y colocación de material de cubierta
Barra	• Cavaba
Pico	• Mantenimiento de la fosa séptica y estanque de tratamiento biológico (excavación de sedimentos)
Nivelación de manos	• Mantenimiento y construcción de canaletas
Horquilla en forma de cubierto	• Carga y descarga de residuos
Machete	• Aflojar el suelo
Martillo	• Construcción de instalaciones de ventilación de gas
Cordillera	• Mantenimiento de zanjas y canales de drenaje
Rastrillo	• Esparcir los residuos y cubrir el suelo
Carretilla	• Aflojar el suelo para las excavaciones
Rodillo de mano	• Compactación de residuos y cobertura de suelo

Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador. 2002.

En cuanto a las operaciones mecanizadas, un factor importante en la selección del equipo es la posibilidad de que la máquina realice funciones múltiples; para ello es necesario considerar la función y capacidad de cada una de las piezas del equipo, tomando en cuenta las condiciones reales del sitio en cuestión. Esos factores que serán considerados están muy relacionados con las características del suelo, la topografía, las condiciones climatológicas, así como las características cuantitativas y cualitativas de los residuos, sin olvidar las restricciones presupuestarias. La versatilidad de los equipos es requerida en el SDF, especialmente cuando la disponibilidad es limitada.

Tabla 3. Equipos o maquinarias recomendadas para la operación de un SDF.-

	Tipo de Equipo	Características	Función
Excavadora		<p>La excavadora está equipada con un motor diésel y un sistema hidráulico para el control de los brazos de carga y el cubo. El tiempo del ciclo de excavación depende del tamaño del equipo y las condiciones del sitio. Por lo tanto, cuando la excavación es más difícil o la zanja más profunda, el procedimiento de excavación será lento. La literatura comercial disponible en el mercado de los diferentes fabricantes indica el cálculo o la estimación del tiempo para el ciclo, de acuerdo con el modelo de equipo y las condiciones particulares de cada sitio (tipo de suelo y profundidad de excavación). La profundidad de excavación (medida desde el nivel del suelo) depende del alcance de los brazos de carga. Algunos modelos, además del cubo principal puede utilizar un martillo hidráulico rompedor que permite excavar suelos rocosos.</p>	<p>Excavar el suelo y preparar el acceso a los vehículos de transporte, así como aplicar cobertura diaria o primaria a los residuos sólidos (como el método de trincheras). Este equipo también se puede utilizar bajo ciertas premisas en el movimiento de tierras.</p>
Retroexcavadora		<p>La retroexcavadora, es una excavadora que además del cubo, del lado opuesto contiene una pala cargadora que puede empujar y nivelar el material.</p>	<p>Su función principal es excavar el material de cobertura. Se utiliza para la fabricación del muro de contención de una celda para la eliminación de residuos.</p>
Cargador frontal		<p>El cucharón o cubo de este tipo de cargadores, se acciona de forma fácil y rápida mediante un mecanismo hidráulico. Se obtiene una mejor eficiencia y flexibilidad en este equipo, cuando tiene un cucharón multipropósito. Este tipo de cucharón se adapta a diferentes operaciones según la posición en la que opera.</p> <p>El cucharón tiene una sección estacionaria y una sección móvil. El movimiento puede ser controlado por el operador con el mismo sistema de control. El cucharón puede actuar como: Cargador, empujador, excavadora o draga.</p> <p>La versatilidad de este tipo de equipos es requerida en el SDF, especialmente cuando la disponibilidad de equipos es limitada.</p>	<p>Estas máquinas pueden realizar funciones similares a las de los cargadores de neumáticos. Las cargadoras de orugas también se recomiendan para excavar suelos sólidos o duros. Su distancia óptima para el transporte de materiales no debe exceder los 30 metros.</p>

	Tipo de Equipo	Características	Función
Bulldozer		<p>Es una especie de tractor con orugas ampliamente utilizado en los SDF porque permite realizar ambas funciones, extender y compactar, aunque no con un alto grado de compactación. Es la alternativa a una excavadora o tractor común porque es más económico, no solo por el precio de compra, sino también por el consumo de combustible. Este realiza las mismas funciones que el compactador rodillo, solo que el nivel de compactación es mucho menor. En el caso de la excavadora, solo permite esparcir los residuos. Este equipo es el más recomendado para las operaciones de un relleno.</p>	<p>Esparcimiento y compactación de los residuos sólidos y del material de cobertura.</p>
Camión Volteo		<p>Es un camión de cama generalmente larga con un dispositivo de volteo para esparcir el contenido de la cama. Dependiendo de la marca, se fabrican para diferentes capacidades. Es imprescindible en un SDF para el transporte del material de cobertura aunque no necesariamente su uso es diario, ya que se puede programar el acopio del material de cobertura cercano a la celda de residuos, y con ayuda de otro equipo del frente de trabajo se puede distribuir dentro de la celda.</p>	<p>Su función es transportar el material de cobertura y transportar materiales de un lado a otro del SDF.</p>

Fuente: Manual para el funcionamiento de vertederos. SEDESOL, México y resumido por el JET.

En resumen, se puede recomendar como equipo básico requerido para la operación de un SDF mecanizado un bulldozer, una excavadora/retroexcavadora y un camión volteo.

Cuando se vaya a preparar una nueva celda, se requiere un rodillo para la compactación del suelo impermeable. Como su uso es eventual, no se indica como parte del equipo básico del SDF. Se podrá alquilar en el momento necesario.

2.4 Operaciones Básicas del SDF

Como se ha explicado anteriormente, la gestión adecuada de un SDF es una actividad muy compleja, ya que, si bien la operación fundamental consistirá en recibir y disponer adecuadamente los residuos, hay actividades complementarias requeridas para garantizar la correcta operación y limitar los impactos ambientales. A continuación, se detallan las operaciones principales objeto de un SDF:

2.4.1 Control de acceso, registro y pesaje

La caseta de control y el área de pesaje representan la primera fase de las operaciones del SDF. Para garantizar el control de acceso, el sitio estará debidamente cercado en su perímetro, con control de entrada y salida. También se identificará debidamente con un cartel/letrero, en el que se indique el horario y tipos de residuos aceptados.

A pesar de ser una instalación municipal, un SDF no es un lugar de acceso abierto al público en general, ya que su operación diaria implica ciertos riesgos para quien no está capacitado para circular dentro de estas instalaciones.

El personal responsable del control y la vigilancia deberá:

- Establecer el seguimiento y control de las entradas y salidas de personas no autorizadas a las instalaciones.
- Supervisar especialmente el sistema de pesaje de los vehículos de recogida, si procede, o en su defecto anotar/cotejar el número de viajes.
- Vigilar constantemente que no haya incendios en el SDF.
- Supervisar el buen estado de las vías internas y el acceso al SDF.
- Controlar al máximo el tipo de residuos sólidos entrantes, con el fin de evitar la entrada al sitio de residuos no permitidos/prohibidos.



Fuente: Vertedero Municipal de Azua, MANCOM, 2017.-

Foto 1. Puerta de control de acceso al SDF de Azua (MANCOM)

La barrera visual juega un papel importante en un SDF con respecto a la comunidad, por lo que se recomienda plantar algún tipo de árbol grande alrededor del perímetro del SDF que sirva como barrera natural. Los arbustos pudieran desviar los vientos y reducir considerablemente la molestia provocada por los malos olores en los alrededores si los hubiese, además de mejorar el paisaje y aumentar la privacidad de las operaciones.

Al ingresar al SDF, se realizará el registro del pesaje de los vehículos entrantes, tomando al menos la siguiente información:

- Origen (nombre del municipio, empresa, persona);
- Fecha y hora de entrada;
- Matricula del vehículo;
- Tipo de vehículo (camión compactador grande / pequeño, camión volquete, camión de cama fija, etc. Es recomendable registrar también la capacidad o el volumen, en m³, especialmente si no se dispone de equipos de pesaje;
- Cantidad (peso) y tipo de residuo.

Este manual recomienda establecer el reporte diario, por cualquier método, como parte de la operación adecuada del SDF.



Fuente: Peñaloza, H. (s. f.). Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios (3.a ed.). Escuela Colombiana Julio Garavito.

Figura 4. Distribución área de entrada del SDF

Para determinar la cantidad, en SDF medianos y grandes, se debe instalar una báscula grande como las que se usan para pesar camiones. Esta balanza registra el peso de cada vehículo a la entrada y a la salida, siendo la diferencia entre ambos el peso de los residuos entrantes (peso del vehículo cargado menos peso del vehículo vacío (tara)). El registro se puede hacer manualmente, utilizando formatos preestablecidos o a través de una computadora.



Fuente: Manual Fase I FOCIMIRS

Foto 2: Registro de peso computarizado relleno sanitario ASINORLU en El Salvador.

La balanza es recomendable, especialmente para SDF medianos y grandes. En SDF pequeños y rehabilitados, es suficiente contar con un registro manual de la cantidad y el tipo de vehículo que entra. En este último caso, primero se deben tomar las medidas (longitud, ancho y altura) de los camiones y luego estimarse la cantidad de residuos que contienen (por volumen), en base a los criterios establecidos por el MMARN, y luego contar el número total de camiones que se están recibiendo, así:

Volumen de residuos para un camión = largo × ancho × altura

Volumen total de residuos = volumen para un camión × número total de camiones

Peso total de los residuos

= volumen total de residuos × densidad de residuos(500 (kg)/m³ de promedio)

La densidad de los residuos varía en función de su estado de compactación, como se muestra en la Tabla 4

Tabla 4. Densidad de los residuos sólidos

Residuos sólidos	Densidad
En el contenedor doméstico	105 - 210 kg/m ³
En el recolector	350 - 630 kg/m ³
Compactación en el vertido manual	400 - 600 kg/m ³
Con maquinaria de compactación	600 - 810 kg/m ³

Fuente: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios. Ecuador 2002. Página 6

Registrar quién aporta qué tipo y cuánto, permitirá establecer responsabilidades, en caso de incumplimiento o accidente, así como controlar la cantidad de residuos que ingresen al SDF y establecer el pago correspondiente.

2.3.2 Inspección de la carga

Los camiones deben ser inspeccionados regularmente de manera aleatoria. Es importante verificar si la naturaleza de los residuos que se introducen corresponde a la información suministrada e inscrita en el registro. Dicha inspección generalmente se realiza al azar. Para eso, basta con realizar la inspección visual de la descarga y abrir algunas bolsas.

La inspección se realiza con el objetivo de detectar residuos prohibidos (no aceptados en el SDF), ya sea porque son considerados peligrosos por la legislación nacional vigente y aplicable o porque presentan riesgos para la operación, como residuos combustibles (residuos que contienen aceites o minerales) o infecciosos.

Es importante capacitar al personal para identificar los residuos sospechosos y coordinar con ellos para comunicar sus observaciones (por ejemplo: "hemos encontrado jeringas usadas y pilas de sangre en la carga del ayuntamiento XX que llegó a las XX horas").

En el caso de residuos peligrosos y prohibidos, deberán separarse de los residuos sólidos comunes, con el fin de:

- Reducir el riesgo de lesiones personales
- Reducir el riesgo de incendio / explosión
- Reducir la contaminación potencial del medio ambiente.

Cargas potencialmente peligrosas:

- Contenedores de productos químicos
- Residuos biomédicos
- Cilindros presurizados
- Animales muertos
- Otros

Los residuos peligrosos encontrados deben ser segregados y almacenados hasta que se pueda dar una eliminación adecuada. En el almacenamiento temporal de residuos peligrosos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Ubicación segura
- Protegido de las inclemencias del tiempo
- Ventilación adecuada
- Área de almacenamiento con contención de derrames
- Tener áreas donde se puedan separar de acuerdo con su naturaleza química.
- Contar con equipos de seguridad y respuesta a emergencias.

2.3.3 Orientación a la zona de vertido

Para que los camiones viertan adecuadamente los residuos en el área de vertedero disponible actual, deben ser guiados a esa zona. La guía podría ser el uso de una señalización conveniente que indique la ruta, así como la asistencia de un personal.

Hay rellenos que tienen varias áreas de operación. En ocasiones las áreas dependen del tipo de vehículos, tales como los de descarga automática contra los de descarga manual. En otros sitios el tipo de residuos, por ejemplo, residuos de jardinería, determinan a donde debe ir el vehículo. En los rellenos grandes, es una práctica de operación cambiar los frentes de trabajo en función de las condiciones del clima y otros factores.

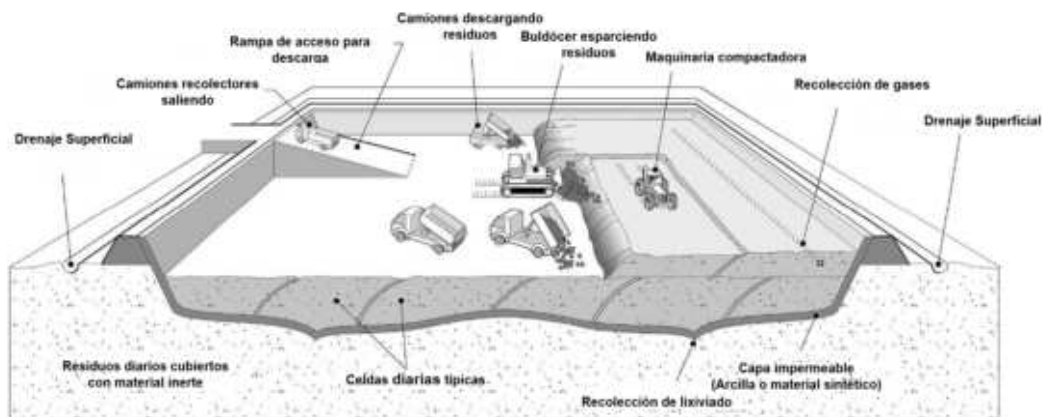
Adicionalmente a los señalamientos adecuados, el controlador de acceso o el operador de la báscula, deben proporcionar instrucciones verbales a los conductores, para agilizar las actividades y evitar confusiones. La mayoría de las operaciones en la báscula y el acceso dependen de la comunicación con los conductores de los vehículos. Los transportistas que ingresan por primera vez necesitarán ayuda para llegar al área de descarga, conocer el reglamento y los procedimientos del relleno. La caseta de control de acceso es el lugar donde se establece el trato directo con los usuarios del relleno sanitario. Debe dejarse sentir que el sitio tiene reglas y procedimientos que deben seguirse.

Se debe designar un espacio específico de depósito de los residuos, conocido como el área de tiro. Una vez que los vehículos llegan a la zona de tiro, el personal operativo del SDF dará las indicaciones pertinentes a los conductores de los mismos, utilizando señales para su correcto estacionamiento, de tal forma que el vertido de los residuos se realice en el lugar establecido y en el menor tiempo posible.

El área de tiro puede estar hecha de material de relleno, asfalto triturado, concreto o arcilla. Es muy importante garantizar el acceso a la zona de tiro por lo que se debe dar el mantenimiento requerido. Es el punto más crítico del SDF.

2.3.4 Prácticas de disposición de los residuos: vertido y conformación del relleno sanitario

Se llama “celda” (en algunos países “fosa”) a la conformación adecuadamente preparada que, en una porción de terreno, con acondicionamiento previo, se da a los residuos sólidos junto al material de cobertura debidamente compactados. La celda es la infraestructura principal de un relleno sanitario. Internamente, la celda estará compuesta por “celdas diarias” que no son más que un espacio específicamente definido dentro de la celda, en el cual se confinan, compactan y cubren los residuos durante cada día que dure la operación. El conjunto de celdas diarias adyacentes de la misma altura, formarán un nivel o terraza (denominada capa en algunos países).



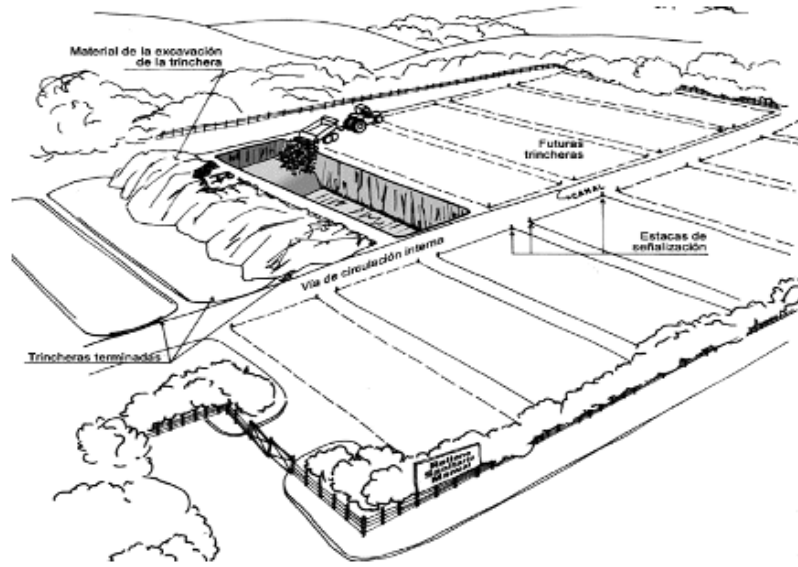
Fuente: Tchobanoglous G., Theisen H & Vigil S.A. (1999) Integrated Solid Waste Management. McGraw Hill International. Universidad de Sevilla
Trabajo fin de grado: Generación de lixiviados en vertederos. Teresa Jiménez González. (Traducción del JET)

Figura 5: Explotación de un relleno sanitario y conformación típica de una celda

Existen dos métodos básicos para la operación de los rellenos sanitarios: el de Trinchera y el de Área. Otras opciones son modificaciones de los dos métodos anteriormente señalados. El método de trinchera es más difícil de ejecutar, debido a que los diseños actuales demandan la implementación de un sistema de impermeabilización (natural o artificial) de la base del relleno y de sistemas de captación y desalojo de lixiviados. El método de área es actualmente el más utilizado, principalmente porque se adapta con mayor facilidad a la existencia de la infraestructura mencionada. En todo caso los diseños actuales, admiten excavaciones mayores para alcanzar la profundidad deseada y proceder a la construcción de sistemas de impermeabilización y captación de lixiviados, para posteriormente operar el sitio mediante el método de área.

(1) Método de trinchera

Este método suele utilizarse cuando el nivel de las aguas subterráneas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden excavarse con equipos normales de movimiento de tierras. Este método consiste en depositar los residuos en el talud inclinado de la trinchera (pendiente 3:1), donde se esparcen y se compactan con el equipo adecuado, por capas, hasta formar una celda que posteriormente se cubrirá, al menos una vez al día², con el material excavado de la trinchera, esparciéndolo y compactándolo sobre los residuos.

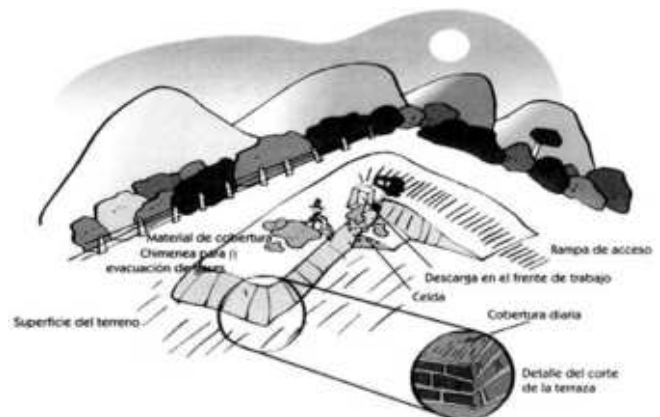


Fuente: (1) Jorge Jaramillo, Guía para el diseño, Construcción y operación de Rellenos sanitarios manuales. / (2) Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico (PAHO-OPS - World Bank, 2000, 152 p.)

Figura 6. Vertido por el Método de Trinchera

(2) Método de área

Este método puede utilizarse en cualquier tipo de terreno disponible, como minas o canteras abandonadas, cañones, terrenos planos, depresiones y zanjas contaminadas. Un aspecto muy importante es la proximidad del lugar donde se obtendría el material de cobertura, para no encarecer la operación. El método es similar al de la trinchera y consiste en depositar los residuos en el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas para formar la celda que luego se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo de la zona a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.



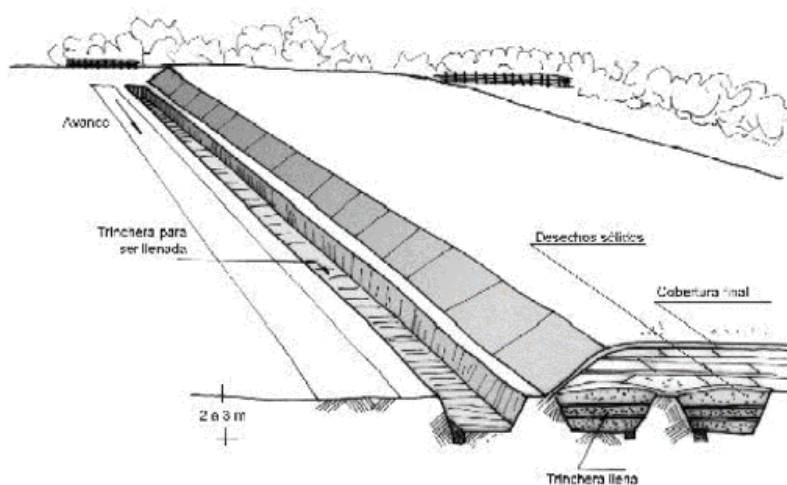
Fuente: (1) Jorge Jaramillo, Guía para el diseño, Construcción y operación de Rellenos sanitarios manuales. / (2) Tecnologías Apropriadas en Agua Potable y Saneamiento Básico (PAHO-OPS - World Bank, 2000, 152 p.)

Figura 7: Conformación de la celda por el Método de Área

2. Dadas las limitaciones financieras de la mayoría de los municipios del país, y considerando que el ciclo de la mosca es de 72 horas, el MMARN ha establecido al menos aceptable que la cobertura intermedia se realice al menos 3 veces por semana.

(3) Método Combinado

En algunos casos, cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del lugar elegido para instalar el relleno son adecuadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, dando cabida a lo que se conoce como Método Combinado. Por ejemplo, comenzar con el método de trinchera y luego continuar con el método de área en la parte superior. Otra variante del método combinado es comenzar con un método de área, excavando el material de cobertura de la base de la rampa, formando una trinchera, que también servirá para ser rellenada. El método combinado se considera el más eficiente porque puede significar un ahorro en el transporte del material de cobertura (siempre que esté disponible en la obra) y aumentar la vida útil del sitio.



Fuente: (1) Jorge Jaramillo, Guía para el diseño, Construcción y operación de Rellenos sanitarios manuales.

Figura 8. Conformación de una celda por el método combinado.

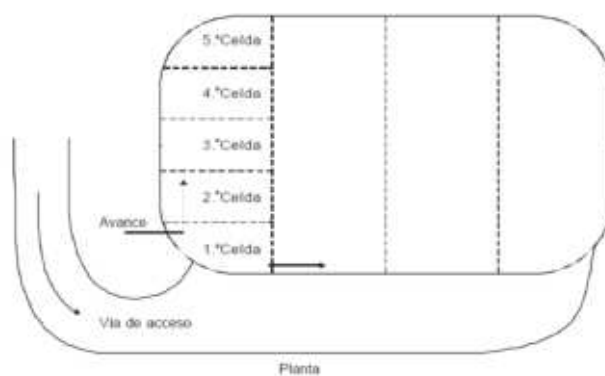
Sin importar el método utilizado, es importante mencionar que la celda constituye el elemento primario y común de cualquier relleno sanitario. Es el componente elemental del relleno sanitario, por lo que su conformación de manera adecuada es el objetivo de la operación diaria de una instalación de este tipo.

Cuando los residuos son confinados en una celda, las posibilidades de que se inicie fuego interno se reducen al mínimo y en todo caso éste no puede propagarse fácilmente, la fauna nociva como roedores, moscas principalmente, no pueden tener acceso fácil a los residuos para conseguir alimento o madrigueras, también se reduce la cantidad de materiales expuestos a los elementos ambientales con lo que se minimiza la dispersión de residuos, microorganismos y polvos, al igual que se mitigan o eliminan olores y la producción de lixiviados, facilitando finalmente el control de los gases que emanan de las celdas del relleno.

2.3.5 Esparcimiento y compactación de los residuos

La descarga de los residuos deberá realizarse a poca distancia de la celda diaria, siempre evitando que los vehículos recolectores y de transferencia interfieran con las actividades de la maquinaria pesada. Una vez descargados, los residuos se transportan al frente de trabajo en funcionamiento. Los pasos para la operación se describen a continuación:

- Descargar los residuos sólidos sobre el área que conformará el correspondiente frente de trabajo.
- Usar estacas de nivelación para el control de la altura de la celda y dar la pendiente adecuada para facilitar el drenaje por gravedad. Se recomienda una altura máxima de 5m, pendiente mínima de un 2% y un talud de 3:1. En todo caso la altura y avance de la celda diaria será especificada por el encargado del SDF.
- Según el equipo a utilizar (compactador de ruedas o tractor a orugas u otro) y de acuerdo a la disponibilidad de equipo, el ancho de la celda diaria deberá ser el adecuado para que la maquinaria funcione y maniobre cómodamente; como mínimo, se deberá adoptar un ancho igual al doble del ancho de la cuchilla u hoja topadora del compactador más 2m, debiendo ser especificado.
- Esparcir los residuos sólidos en el frente de trabajo en capas de 0.30 a 0.60 m de espesor.
- Compactar los residuos sólidos con entre 3 y 5 pasadas sobre el talud, según el equipo disponible.
- Una vez compactados los residuos del día, se descarga sobre los mismos el material para la cobertura diaria.
- Esparcir y compactar el material de cobertura, manteniendo un espesor mínimo de 15 cm. Dependiendo del tipo de suelo de donde provenga el material de cobertura, puede requerir un espesor mayor. Por ejemplo, material suelto tal como la arena puede penetrar dentro de espacios abiertos en los residuos. Por esta razón si los residuos no son compactados adecuadamente se requerirá mayor cantidad de material de cobertura.



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador.2002

Figura 9. División del frente de trabajo dentro de la celda (celdas diarias)

Dependiendo del método de operación elegido y la cantidad de residuos que ingresan diariamente al SDF, dentro de la celda se designan espacios de trabajo más reducidos para la operación diaria. Cada uno de estos espacios conforma una “celda diaria”. Se recomienda considerar las celdas diarias dependiendo la cantidad de residuos que se reciben diariamente, la densidad de los residuos compactados y el grosor de la capa deseada, esto facilitará la compactación disminuyendo el número de horas que un equipo requerirá para lograr el nivel deseado. Considere el siguiente ejemplo³:

3. Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador.2002

Calcule el área de una tira (celda) diaria por una cantidad de 30 Ton / día, cuya densidad una vez compactada será de 500 kg / m³, con un grosor de 30 cm.

Recordemos que:

- Densidad = Peso / volumen, donde
- Volumen = Peso / densidad = 30.000 kg / 500 kg / m³
- Volumen = 60 m³

Por otro lado

- Volumen = Área x altura (en este caso el espesor), donde:
- Área = Volumen / Altura = 60 m³ / 0.3 m = 200 m²

La compactación podría considerarse como el aspecto clave en el funcionamiento de un SDF. Compactar es simplemente aumentar la densidad de los residuos depositados, es decir, tener más, en menos volumen. Es fundamental compactar los residuos de forma óptima para alargar la vida útil del relleno y minimizar los impactos ambientales.

Los beneficios de la compactación son:

- Optimiza el uso de SDF al permitir que se coloquen más residuos en menos espacio.
- Prolonga la vida útil del SDF al aumentar el volumen que se puede recibir.
- Si los residuos se compactan, se requiere menos tierra para cubrir diariamente.
- Previene las madrigueras de roedores
- Evita fugas de lixiviados de las laderas

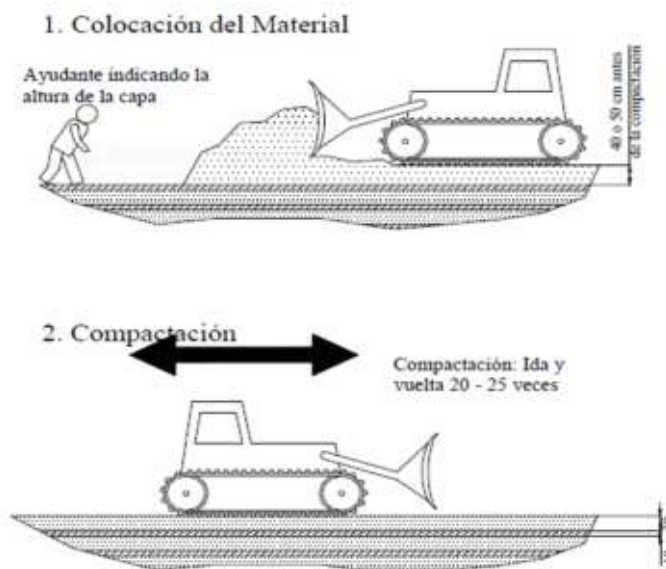
Es importante que el personal que tiene la función de indicar los lugares de descarga los organice de tal manera que los montículos de residuos vertidos se distribuyan de forma homogénea en la zona de la celda diaria. Esta precaución también minimiza el trabajo y, en consecuencia, los costos del equipo de compactación como mencionado más arriba



Fuente: Manual Fase I FOCIMIRS

Foto 3. Colocación de material y esparcimiento de residuos, SDF de Azua, RD. -

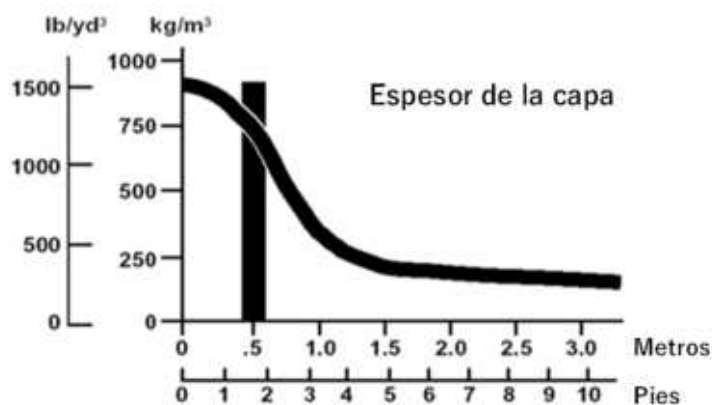
Es preferible colocar capas delgadas de residuos, ya que se compactan más fácilmente. Si un equipo de compactación se utiliza correctamente, el espesor ideal es de entre 30 y 60 cm. En el caso de las excavadoras, la mejor compactación (0,81 t/m³) se consigue si los residuos se colocan en capas finas con un grosor inferior a 30 cm. El operador del tractor puede determinar el grosor de la capa descendiendo para hacer un control visual, o su asistente puede colocar una estaca con medidas para visualizar las mediciones actuales.



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador. 2002

Figura 10. Compactación con alto número de pasadas

A mayor espesor/espesor, menor compactación.

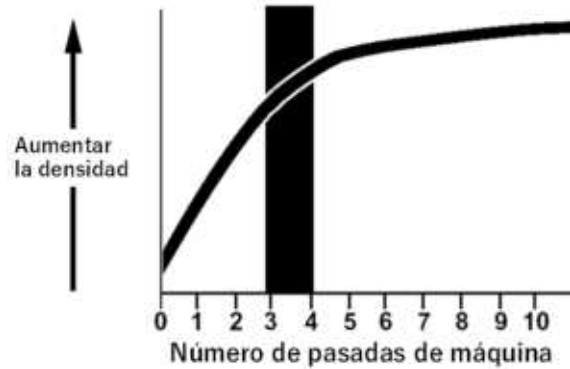


Fuente: Presentación "Biogás Basics". Ing. Marcos Elizondo, WCA Waste Corporation. Seminario "Reducción de las emisiones de metano en el sector de los residuos" Iniciativa Global de Metano. CNCCMDL. Santiago, mayo de 2014

Figura 11. Importancia del espesor de carga

Con una excavadora, a mayor número de pasadas, mayor es la compactación (aumento de la densidad de los residuos depositados). Sin embargo, se debe lograr un equilibrio entre la compactación deseada y el consumo de combustible, porque cuanto más se compacta, mayores son los costos. La decisión final dependerá de cuál de los dos factores sea más limitante en la operación.

Cuando se utiliza un equipo de compactación como tal, debe pasar sobre el residuo al menos 3 o 4 veces para lograr una compactación adecuada, como se puede ver en la Figura 11. Por otro lado, a partir de cuatro (4), el aumento de la densidad no es significativo, como se puede observar.



Fuente: Presentación "Biogás Basics". Ing. Marcos Elizondo, WCA Waste Corporation. Seminario "Reducción de las emisiones de metano en el sector de los residuos" Iniciativa Global de Metano. CNCCMDL. Santiago, mayo de 2014

Figura 12. Importancia del número de pasadas

Hacia arriba, el factor de compactación es más bajo que en un plano horizontal y es a su vez más pequeño, que inclinado hacia abajo. Idealmente, los residuos se empujan cuesta abajo, ya que aumentan el potencial del efecto "cascada" de los residuos, formando capas más delgadas. Sin embargo, cuando se usan excavadoras, hay menos compactación.



Fuente: Manual Fase I FOCIMIRS

Foto 4 -5. Compactación de los residuos con equipo.

2.3.6 Instalación del Dique o banquina

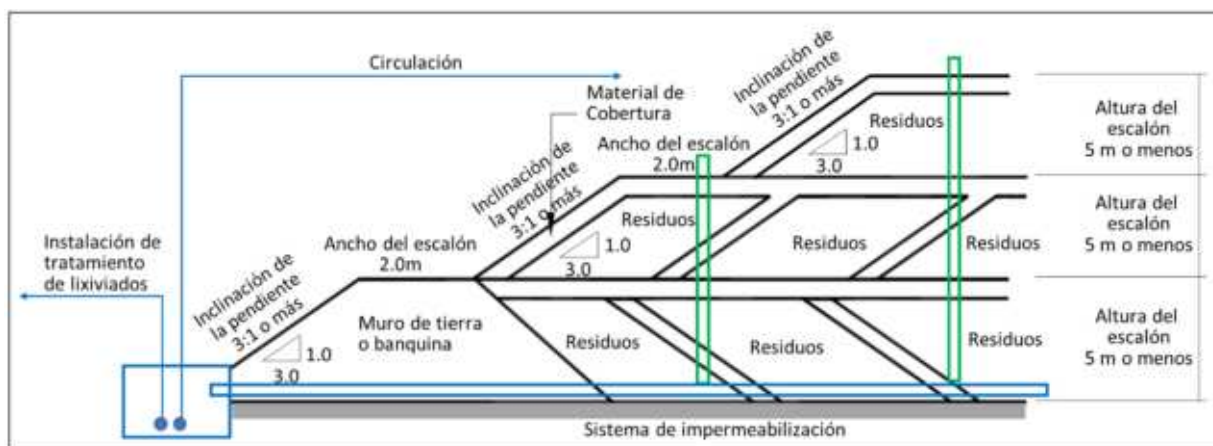
Un dique o banquina es una estructura formada por suelo nativo compactado. Se coloca alrededor de una gran capa de residuos para mejorar la estabilidad estructural y contención de la celda de vertido. Es una actividad que durante la operación se realizará para las nuevas celdas. Los detalles de su diseño se presentan en el Manual para desarrollo de SDF nuevos.



Fuente: Equipo de expertos de JICA, Rehabilitación Vertedero Azua, RD. 2017.-
Foto 6. Instalación de Dique para un área de depósito de residuos

Sus dimensiones deben ser las siguientes:

- Ancho superior: Un mínimo de 2 m o según lo requiera el equipo de compactación para permitir el paso durante la actividad de compactación.
- Pendientes laterales: 3:1 H: V o más plana, según lo requiera el suelo utilizado para conformarla.
- Altura: 2 m como máximo.



Fuente: Modificado por el Equipo de expertos de JICA
Figura 13. Esquema de un dique o banquina tipo terraza

2.3.7 Cobertura diaria e intermedia

La cobertura se define como la acción de revestir los residuos sólidos con material adecuado, después de que hayan sido nivelados y compactados, en el área ya formada.

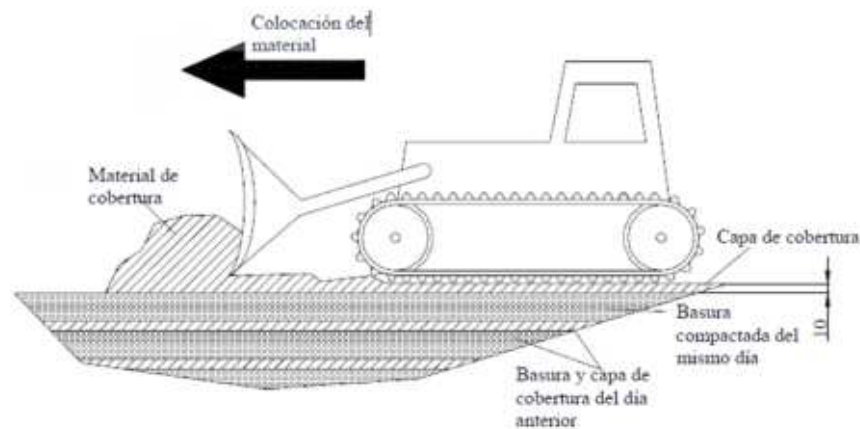
En un relleno sanitario hay tres tipos de cobertura: diaria, intermedia y final. La cobertura diaria es la que se realiza durante la operación del relleno, mientras que la intermedia se refiere a la que se coloca cuando se termina el uso de la celda diaria y antes de pasar a otro nivel. La cobertura final se refiere a la que se ejecuta en el momento del cierre o clausura de la celda.

La cobertura diaria debe colocarse, como su nombre lo indica, de forma continua e idealmente antes de 24 horas después del depósito de los residuos⁴. La colocación de la intermedia dependerá de cuando se agote el uso del área designada como celda diaria, antes de pasar al siguiente nivel o terraza.

Los objetivos de la cobertura son:

- Proporcionar protección contra incendios
- Promoción de la escorrentía de agua de lluvia
- Reducir la infiltración de agua de lluvia
- Mejorar la generación de biogás (crea condiciones anaeróbicas más rápido)
- Reducir los olores
- Proporcionar control vectorial (sin residuos expuestos no hay comida para animales)
- Controlar el acceso a los recicladores (sin residuos expuestos no hay material disponible para extraer en el frente de trabajo)

Los materiales recomendados para servir como cobertura diaria son, dependiendo de su disponibilidad en la zona: caliche, arcilla, granzote fino, compost, entre otros. La disponibilidad del material de cobertura en el sitio donde se encuentra el SDF es un aspecto clave en la selección del sitio para reducir los costos durante la operación.



Fuente: Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Ecuador. 2002

Figura 14. Aplicación de la cobertura intermedia

4. Sin embargo, dadas las limitaciones financieras de la mayoría de los municipios del país, y considerando que el ciclo de la mosca es de 72 horas, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha establecido al menos aceptable que la cobertura intermedia se realice al menos 3 veces por semana.

La aplicación sucesiva de una capa de tierra sobre una capa de residuos se denomina "método sándwich", donde el pan representaría el suelo.

El material para la cobertura del día se vaciará girando en el punto más cercano a la celda del día correspondiente, al que puedan acceder los vehículos de transporte. El cargador o tractor se encargará de empujarlo y extenderlo por toda la superficie a cubrir.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 15. Esquema de la cobertura diaria con material adecuado

Los residuos depositados se cubrirán formando una capa continua y uniforme. Idealmente, el grosor del **material de cobertura diaria debe ser mínimo de 15 cm** con el material ya compactado, equivalente a un espesor de aproximadamente 20 centímetros de material suelto; el grosor del **material de cobertura intermedia debe ser mínimo de 30 cm** con el material ya compactado, equivalente a un espesor de aproximadamente 35 centímetros de material suelto. Como la capa intermedia envuelve la celda diaria terminada y estará expuesta al ambiente por un período de más de una semana, hasta que se coloque una nueva celda sobre ésta, sufrirá los efectos de las condiciones climatológicas y posiblemente el frecuente paso de vehículos.

2.3.8 Cobertura final

El propósito de la cubierta final en un SDF es aislar a los residuos cercanos a la superficie del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del gas generado. Un sistema de cobertura final debe ser construido para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja. Por lo tanto, una buena cobertura reducirá la generación de lixiviados, minimizará la difusión de olores y además mejorará el paisaje.

Tanto la superficie como los taludes del área de residuos deberán estar nivelados antes de descargar el material de cobertura final. Esta cubierta se debe conformar de acuerdo a la topografía final proyectada y los volúmenes de residuos depositados en el sitio, y proporcionarles el grado de compactación que garantice su estabilidad a largo plazo antes de la cobertura con material térreo seleccionado.

El material de cobertura debe ser capaz de soportar la vegetación y con suficiente inclinación para evitar que el agua de lluvia entre en el vertedero⁵.

Según las pruebas de laboratorio adecuadas, el material utilizado para la cobertura de suelo final debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- Coeficiente de permeabilidad de 1×10^{-6}
- Hasta un 10% de tierra fina;
- Hasta el 90 - 100% de arena o grava;
- Que se pueda compactar fácilmente;
- Porosidad del 25 al 50%;
- Que provenga de un lugar ubicado a una distancia razonable del SDF.



Fuente: Grupo de trabajo FOCIGIRS2
 Figura 16. Esquema de la cobertura final

A continuación, se describe el proceso de instalación de la cobertura final y su función (Figura 16):

Última capa de residuos sólidos (Residuos Compactados). Esta última capa debe estar bien compactada antes de colocar el material de cubierta siguiente, pues será la base estructural para la clausura.

Material de cobertura intermedia. En la superficie de la última capa de residuos se coloca una capa de material cuyo espesor deberá ser mayor de 0.3m.

Capa de sello. Esta cubierta incluirá una geomembrana de 1mm de espesor y una capa de protección de 0.30cm de material arcilloso, según se observa en la figura XX. Esta barrera minimiza a largo plazo la infiltración de líquidos y es parecida al sistema de impermeabilización que se coloca en el fondo del relleno.

Se dispondrán las **chimeneas para permitir la salida de los gases.**

La cubierta superior del sitio estará constituida por una cubierta de **tierra negra**, cuya función es la de proteger las capas inferiores del daño mecánico y, junto con la **cubierta vegetal**, protegerla contra la erosión. El espesor de esta capa depende del material disponible y el uso final que se planea dar al sitio. En cualquier caso, el espesor mínimo recomendado es de 0.2 m. En el caso de que se tenga planeado la plantación de árboles y/o arbustos, se puede requerir hasta espesores de 1 m. Las pendientes finales de la estructura deben ser mayores del 2%, en función del avance de la estabilización de los residuos.

Las características deseables de la capa de vegetación que se coloca sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas, de rápido crecimiento, resistentes al biogás, capaces de soportar la falta de agua y que se extiendan horizontalmente sobre el área. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo.



Fuente: Equipo Nippon Koei, Relleno Sanitario Uruka, La Carpio, Costa Rica, 2015

Foto 7. Vista cobertura final y capa vegetal en un relleno

2.3.9 Instalación del revestimiento e impermeabilización para nuevas celdas

Las instalaciones de revestimiento e impermeabilización se implementan para evitar la contaminación de las masas de agua superficiales y subterráneas por los posibles lixiviados vertidos desde un SDF. También evita el aumento de la cantidad de lixiviados debido a la entrada de aguas subterráneas de los alrededores del SDF.

En el Manual para desarrollo de SDF se ha detallado sobre el diseño de esta instalación, pero como la fase de operación de un SDF será necesaria la construcción de nuevas celdas, se incluye un resumen de los parámetros principales en este apartado.

Material de revestimiento con capa impermeable

El propósito del revestimiento de la celda es aislar a los residuos del ambiente, evitando la migración de lixiviados, la contaminación del suelo y las aguas.

Siempre será necesario colocar una **Geomembrana de Polietileno de Alta Densidad con espesor de 1.5 mm** que garantice evitar roturas. Dado que las geomembranas frecuentemente reciben daños con el paso de maquinaria compactadora y camiones, se deben colocar geotextiles como material de amortiguación y una capa protectora de suelo encima de la geomembrana. Además, el suelo natural debajo de la geomembrana debe compactarse para evitar dañar la geomembrana. Cabe señalar que el éxito del uso de cualquier revestimiento dependerá de la correcta colocación de este.

El esquema de colocación del revestimiento se presenta en la siguiente figura XX:



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Figura 17. Esquema del Sistema de impermeabilización requerido en cada celda

Según las pruebas de laboratorio adecuadas, el revestimiento de la celda deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- **Suelo compactado** con 90% a la prueba de Proctor modificado; material preferiblemente arcilloso;
- **Geomembrana** de espesor mínimo de 1.5mm.
- **Geotextil** de material apto para operaciones con residuos.
- Capa protectora (**Suelo de protección**) de 0.50m luego de compactada, que servirá de protección para la geomembrana y como capa de rodadura para la operación de los equipos.

3. MATENIMIENTO Y SUPERVISIÓN DE LAS INSTALACIONES

Las funciones de soporte durante la fase de operación del SDF incluyen, además del mantenimiento de la infraestructura interna y externa, una serie actividades preventivas que garanticen la operatividad del sitio a corto, mediano y largo plazo. Entre las principales debemos citar:

- Mantenimiento de todas las instalaciones: básicas y complementarias.
- Prevención y control de incendios.
- Supervisión e inspección.

3.1 Mantenimiento

3.1.1 Ampliación y mantenimiento de los caminos

Durante la operación del sitio, las vías de acceso y los caminos internos se deterioran por el tránsito de los camiones y equipos, por lo que es necesario su acondicionamiento regular. Generalmente, la ampliación y el mantenimiento de las vías se puede realizar durante la fase de operación con el equipo utilizado para el esparcimiento y compactación (excavadora, por ejemplo).

La vía de acceso y el camino interno al frente de trabajo, las redes de drenaje pluvial y la superficie terminada del relleno deben mantenerse en adecuadas condiciones de operación. El costo de mantenimiento de la vía de acceso y el camino interno es menor que el de la reparación por daño de los ejes y resortes o que el deterioro del vehículo recolector ocasionado por el mal estado de la vía o un volcamiento. Por tal motivo, el frente de trabajo se debe mantener ordenado y sin material disperso en todo momento.

3.1.2 Mantenimiento del Dique o banquina

El material del suelo para el dique debe compactarse adecuadamente para evitar un posible asentamiento debido al aumento de la altura durante la acumulación de residuos.

El dique debe ser inspeccionado para verificar si su integridad se ha visto afectada debido a: erosión de la escorrentía de agua o, asentamiento del suelo.



Fuente: Equipo de expertos de JICA, Rehabilitación Vertedero Azua, RD. 2017.-
Foto 8. Problemas de erosión en el dique debido a fuertes lluvias

3.1.3 Instalaciones para Manejo de lixiviados

El lixiviado es desagradable en apariencia, generalmente tiene un mal olor y puede contaminar las aguas subterráneas y superficiales. Contiene materia orgánica e inorgánica. Algunos de estos materiales son tóxicos para los seres humanos y los animales. Esto significa que el lixiviado debe mantenerse alejado de lagos y arroyos, así como del agua subterránea que las personas pueden consumir.

La cantidad de producción de lixiviados se puede prevenir manteniendo los fluidos, en especial el agua de lluvia, fuera de la masa residual.

El costo de prevenir la generación de lixiviados es menor que el costo de tratar los lixiviados. Para evitar / minimizar la infiltración de agua de lluvia en la masa residual y convertirse en lixiviado, se pueden aplicar las siguientes medidas:

- Mejorar los controles de escorrentía de agua en áreas alrededor del frente de trabajo.
- Mantener la cubierta intermedia y final en óptimas condiciones
- Mantener la cubierta vegetal (celda terminada)
- Reparar la erosión



Fuente: Manual Fase I FOCIMIRS

Foto 9. Izquierda, Fuga de lixiviados. Derecha, Recirculación de lixiviados en la masa de residuos

La legislación (en los países desarrollados) requiere que los lixiviados que se hayan generado se recolecten y procesen para su eliminación. Este requisito requiere la instalación de dos o más capas de impermeabilización en la parte inferior de los rellenos. Un sistema de doble capa impermeable también requiere un sistema de detección de fugas. Un relleno diseñado y construido con una doble capa impermeable tiene una probabilidad muy baja de que el lixiviado pueda escapar, pero siempre existe el riesgo.

Las tecnologías para el tratamiento de lixiviados se pueden clasificar ampliamente en dos categorías: biológicas y fisicoquímicas. El costo del tratamiento es alto. La selección del proceso de tratamiento depende de la caracterización final del lixiviado y de los requisitos de la normativa ambiental. Hay varias opciones de tratamiento de lixiviados, siendo las aplicables para nuestro país:

- Recirculación a la masa de residuos
- Almacenamiento y tratamiento en una infraestructura dentro del SDF

El tratamiento de los lixiviados mediante la recirculación en las celdas del vertedero, tiene el beneficio de acelerar la estabilización de los materiales orgánicos presentes. El uso de la recirculación no elimina la necesidad final de tratamiento. Eventualmente, el exceso de lixiviado tendrá que ser eliminado y tratado.

En el Manual de Construcción de SDF nuevos, se encuentra información más detallada sobre el diseño del sistema de almacenaje y tratamiento de los lixiviados.

3.1.4 Gestión y control del biogás

El metano es un combustible de gases de efecto invernadero altamente explosivo, que junto con el CO₂ es el componente principal del biogás. Se pueden utilizar varios tipos de sistemas para controlar las emisiones y la migración de biogás (sistemas activos y pasivos), dependiendo de la cantidad que se genere. Dicho control podrá consistir en:

- Su ventilación a la atmósfera
- Combustión en quemadores
- La recuperación como fuente alternativa de energía

Estas opciones permiten:

- Minimizar los posibles impactos ambientales
- Realizar un seguimiento de su migración fuera del sitio
- Controlar los olores
- Cumplir con la legislación

La migración de biogás a áreas no controladas durante la operación del SDF se puede detectar de la siguiente manera:

- Percibiendo su olor característico.
- Comprobación de grietas en la cobertura mediante un medidor de exposición.
- Observar incendios o vapores entre las celdas, así como en las áreas circundantes o sitios de muestreo donde se sospecha la migración de biogás.

Los quemadores y respiraderos son instalaciones de tubos simples colocadas dentro de la capa de residuos sólidos para permitir que el biogás se ventile a la atmósfera. Este tubo de ventilación debe revisarse constantemente por si tiene algún daño, y repararse si es necesario, para que cumpla su función de ventilación del biogás.

3.1.5 Gestión y control de las aguas de lluvia: drenaje

El sistema de drenaje consiste en las instalaciones (zanjas, generalmente) para la gestión adecuada de la escorrentía de aguas pluviales. Se instala alrededor de las carreteras de mantenimiento y los vertederos para reducir la cantidad de generación de lixiviados.

Las dimensiones de las zanjas deben ser según los cálculos hidráulicos, con un ancho mínimo para facilitar la construcción. Los detalles para los cálculos se presentan en el Manual para Construcción de SDF Nuevos.

Las obras de drenaje como zanjas, alcantarillas y tuberías colectoras deben inspeccionarse y limpiarse con frecuencia para evitar obstrucciones en el caso de un evento de lluvia que podría producir obstrucción y, por lo tanto, incapacidad de transportar la escorrentía.

Todas las obras de drenaje importantes deben inspeccionarse al menos una vez a la semana, así como después de cada evento de lluvia para eliminar sedimentos y escombros.



Fuente: Equipo de Expertos de JICA. Relleno Sanitario Moyobamba, Perú. 2022

Foto 10. Instalación para drenaje de aguas pluviales en un SDF en hormigón. –

El agua de lluvia puede convertirse en lixiviado. Causa dificultades en el funcionamiento de los equipos y aumenta los costos de operación del SDF. Por lo tanto, el objetivo de la gestión y el control de las aguas pluviales es evitar el flujo de agua de lluvia al sitio desde las áreas circundantes, y reducir la cantidad de lixiviados generados dentro del SDF. Se requiere el drenaje de las aguas superficiales / escorrentía, siendo necesaria la implementación de diferentes medidas para el control del agua de lluvia durante la operación, como son:

- Trincheras o zanjas perimetrales
- Paredes de tierra o diques
- Pendientes / Nivelación
- Alcantarillas
- Control de la erosión
- Cubierta vegetal

3.1.6 Verja perimetral

Como ya se ha explicado en el Manual de Construcción de SDF nuevos y en el de Cierre y Rehabilitación de SDF existentes, consiste en el elemento de barrera física que delimita el área del SDF y se instala a lo largo del límite del sitio para mantener alejadas a las personas no relacionadas.

Como generalmente esta verja consiste en una cerca de malla de eslabones, debe ser constantemente revisada, y reparada si es necesario, para que cumpla con su función de impedir el paso de animales y personas no autorizadas al SDF.

En general, los problemas que tendrán que ser observados y reparados (si aplican) son:

- Los agujeros generados por las personas al cortar los alambres de la malla. La malla de esa sección tendrá que ser reemplazada.
- Enderezar los postes y secciones de malla que podrían ser tirados o deformados, porque las personas o los animales se apoyan en ellos o por el paso de algún equipo.
- Rellenar los agujeros que hacen los animales en el suelo para pasar por debajo de la malla.

3.1.7 Báscula tipo puente (balanza camionera)

La báscula es un elemento de control de los residuos que ingresan al sitio de gran importancia, por lo que es necesario mantenerla en buen estado para no perder el control sobre las cantidades depositadas, teniendo en cuenta los siguientes cuidados:

- Calibrar constantemente la báscula (al menos una vez al mes);
- Proporcionar un servicio de engrase regular;
- Mantener el entorno de la báscula limpio de polvo, escombros y lodo, así como revisar el interior para comprobar que no se han introducido residuos, y si es así, eliminarlos;
- Pintarla al menos una o dos veces al año, para mantenerla en buen estado y libre de corrosión.

3.1.8 Oficinas generales y áreas de servicio

El aspecto general y visual de estas zonas es importante para la mejor aceptación del SDF por parte de la opinión pública. Los principales componentes son: aseo y limpieza general, necesidades de pintura de la fachada y las paredes, así como el buen funcionamiento de la plomería y la instalación eléctrica. El personal debe trabajar siempre en condiciones apropiadas que garanticen su bienestar e integridad física.



Fuente: Equipo de expertos de JICA

Foto 11: Edificio administrativo Relleno Sanitario Tarapoto, Perú.-

3.2 Supervisión e inspección

La supervisión e inspección en un SDF son actividades para garantizar que la operación se realiza de manera óptima y en consecuencia evitar problemas económicos, sociales, técnicos y/o ambientales. Si el operador no lleva a cabo una buena supervisión y un mantenimiento adecuado, existe el riesgo de que del SDF se convierta en un vertedero a cielo abierto.

La **supervisión** debe entenderse como la acción de observar un trabajo en particular, con el fin de que se realice correctamente. Por otro lado, la **inspección** es la acción de observación para confirmar que un determinado trabajo se realizó correctamente, una vez finalizado.

Las actividades dentro de la supervisión están dirigidas principalmente a los siguientes aspectos, aunque no se limitan a ellos:

- Compruebe que los datos requeridos y definidos en el formato se introduzcan en el registro de entrada y salida.
- Supervisar el control de los residuos sólidos que ingresan al sitio, para asegurar que no se reciban residuos industriales o peligrosos, realizando visitas aleatorias al área de acceso y observando los registros de entrada y salida.
- Verifique el funcionamiento y la operación de la báscula de camión de manera aleatoria, verificando el ajuste correcto de la báscula en un peso de referencia conocido.
- Preste especial atención al procedimiento de pesaje de los vehículos de recogida y al material de la cubierta para detectar posibles errores.
- Verifique que los vehículos, al llegar al patio de maniobras, estén orientados a descargar lo más cerca posible del frente de trabajo; y que el patio esté organizado y limpio.

- Verificar que la orientación del tráfico y descarga, en el patio de operaciones, sea la más adecuada para evitar pérdidas de tiempo.
- Verificar que las herramientas, maquinarias y equipos para la protección de los trabajadores estén bien mantenidos.
- Verifique que el frente de trabajo esté en condiciones operativas en todo momento, incluso cuando se produzcan fuertes lluvias.
- Asegúrese de que el drenaje en el frente de trabajo sea inmediato y se conduzca al sistema de drenaje.
- En caso de operación nocturna, observe que el frente está iluminado.
- Comprobar que las celdas a construir cada día están identificadas por estacas que marcarán los límites de las mismas. Estos límites se indicarán a los operadores de los tractores.
- Asegúrese de que los escombros y el material de la cubierta estén correctamente compactados.
- Si se requiere, para el pago del equipo, verificar que se realiza un registro de horas efectivas de máquina.
- Observe que los camiones no arrojan residuos en su tránsito por el relleno sanitario, sino en el frente de trabajo.
- Vigilar que los operarios realicen la limpieza de sus unidades en la zona designada, dentro de la misma celda, para no retrasar el vertido.
- Verificar la ejecución del programa de uso de las maquinarias,
- Velar que la zona de tránsito se riegue continuamente con agua, para reducir el polvo.
- Observar los baches.

En cuanto a las actividades de inspección, las principales son:

En el área de acceso al SDF:

- Comprobar que la báscula adquirida sea lo más adecuada posible a las condiciones del sitio y que su instalación se ajuste a las recomendaciones del fabricante y los ingenieros.

En el área de las celdas:

- Vigilar constantemente que no haya incendios en el SDF; en caso de que se produzcan, la zona debe considerarse como una emergencia y el incendio tendrá que ser controlado y eliminado inmediatamente con arena o material de cobertura.
- Verificar que el tamaño, distribución, forma de las celdas y material del techo correspondan a lo indicado en el proyecto y las especificaciones, realizando nivelación en los caminos de acceso, el piso natural, y las celdas terminadas.
- Tenga en cuenta que no hay grietas en las celdas.

Durante la inspección de las vías de mantenimiento:

- Inspeccionar si hay grietas o baches en el suelo o pavimento
- Inspeccionar si hay alguna zona erosionada debido al agua de escorrentía
- Verificar que la zona de paso de los vehículos sea lo más firme posible para evitar que se obstruyan y obstruyan el acceso al frente de trabajo.

- Observar el buen estado de los caminos internos y de acceso al SDF, verificando que se realice la limpieza y el mantenimiento.
- Comprobar que los caminos de acceso, patio de maniobras, redes de drenaje pluvial y superficie terminada del SDF se mantengan en buenas condiciones de funcionamiento.

Para la reparación de la carretera debido al ahuecamiento, se debe delimitar la zona dañada, colocar y compactar material de suelo nativo para fijarla.

Para las zonas erosionadas, inspeccione si las instalaciones de aguas pluviales funcionan correctamente. A continuación, reconstruya la zona a su estado normal.

Por lo tanto, si es necesario según la inspección anterior, se recomiendan las siguientes acciones:

- Regar periódicamente las carreteras, preferiblemente durante las horas de mayor actividad, para evitar la generación de polvo.
- Rellenar los baches y luego compactar con un aplanador
- Las cunetas de las vías deben estar siempre libres de rocas, arena o residuos para evitar su obstrucción.
- Mantenimiento de las condiciones de rodamiento de las vías, preferiblemente en horas no laborables, para aprovechar el equipo pesado disponible.

Inspección de los asentamientos y deslizamientos

Con el tiempo, los residuos sólidos sufren transformaciones debido a la actividad microbiana, descomponiéndose en gases y lixiviados. Este proceso favorece los asentamientos diferenciales y el hundimiento, provocando la desestabilización del terreno.

Los asentamientos diferenciales provocan depresiones en la superficie del terreno, donde se acumula el agua, dando lugar a la entrada de la misma y a la generación de lixiviados. Por esta razón, es necesario el monitoreo. Esta situación debe evitarse, nivelando el terreno para un buen drenaje.

A manera de resumen, se presenta la siguiente tabla 5 con la frecuencia recomendada de inspección de las instalaciones:

Tabla 5. Frecuencia inspección de instalaciones

No.	Instalación	Frecuencia de Inspección	
		Durante la operación	Después del cierre
1	Verja perimetral y puerta de acceso	Semanal	Semestral
2	Balanza	Mensual	x
3	Materia de cobertura	x	Semestral
4	Caminos o vías internas	Semanal	Semestral
5	Sistema de conducción de lixiviados	Semanal	Semestral
6	Sistema tratamiento lixiviados (celda de descarga)	Semestral	Semestral
7	Celda (contención y revestimiento)	Semanal	x
8	Dique o banquina	Semanal	Semestral
9	Sistema de ventilación de gases	Semanal	Semestral
10	Sistema de drenaje para aguas pluviales	Semanal y después de un evento climático	Semestral y después de un evento climático

Fuente: JET

3.3 Precauciones para la temporada de lluvias

Durante la temporada de lluvias, existen problemas importantes en el funcionamiento del SDF, especialmente los manuales, tales como:

- Es difícil pasar los vehículos colectores por encima de las celdas ya formadas y puede presentar obstrucciones, debido a la baja densidad alcanzada con la compactación manual.
- Difícil de extraer y transportar el material de cobertura y el arduo trabajo de dar forma a las celdas. Estos factores conducen a un menor rendimiento por parte de los operadores.
- Solo es posible descargar la basura y el material de cobertura en la terraza, retrasando así la formación y compactación de las celdas. Si no se toman las medidas adecuadas a tiempo, los residuos dispersos y la presencia de aves carroñeras deteriorarán el aspecto del SDF.
- Mayor producción de lixiviados.

Por lo tanto, es necesario tomar las siguientes previsiones:

- Reservar alguna zona en lugares menos afectados por las lluvias, con accesos conservados para operar en las peores condiciones (área de emergencia).
- Construir una carretera o camino artificial utilizando troncos o pequeños escombros de construcción (escombros).
- Programar el movimiento de tierras para los períodos secos, tanto para la extracción del material de cobertura como para la apertura de zanjas, dejando solo el enterramiento de los residuos para la temporada de lluvias.
- Idealmente, las celdas deben cubrirse con material plástico (geomembranas) para evitar que el agua de lluvia se filtre a través de los residuos.
- Reservar áreas y construcción en altura de las celdas para la operación durante períodos de lluvias.
- Mantener áreas de trabajo estrechas, soportando las celdas en la pendiente del terreno y superponiendo tres o más celdas cerca de la carretera interna para que el avance sea más vertical que horizontal.

Durante uno o más días a la semana, refuerce la mano de obra con una cuadrilla adicional de dos o tres trabajadores, con el fin de mantener el SDF en buenas condiciones mientras persistan los factores adversos.

3.4 Prevención y control de incendios

Los incendios generan problemas de seguridad, reducen la calidad del aire (salud), causan molestias y daños a la propiedad. En los SDF, los incendios pueden ser difíciles de localizar porque a veces se generan dentro de las celdas y el humo toma la ruta que le permite salir más fácilmente y no necesariamente a la superficie directa sobre su ubicación.

3.4.1 Tipos de incendios

Los incendios en un SDF son de 2 tipos: superficiales y subterráneos.

Los **incendios superficiales** pueden ser causados por fuentes fuera del sitio (por ejemplo, residuos que llegan con altas temperaturas en el interior o ya iluminados) o por fuentes del sitio (maquinaria, alguien fumando en la masa de residuos, recicladores, entre otros).

Los incendios subterráneos se producen por la infiltración de aire en la masa residual y la presencia de fuego debajo de la superficie. Son difíciles de extinguir, por lo que se hace necesario saber identificar los signos de un incendio subterráneo.

En un relleno sanitario con buen manejo, la presencia de fuego abierto es muy poco probable. Si el fuego se inicia, este debe de ser extinguido lo más pronto posible para prevenir su extensión en todo el relleno sanitario. En los sitios de disposición final hay gran cantidad de material con alto poder calorífico, fácilmente inflamable y/o explosivo. En ocasiones llegan residuos aún en combustión. Por otra parte, los recicladores voltean los residuos sólidos porque les deja al descubierto el material que no han podido recuperar haciendo posible la aireación que contribuye a la generación de incendios. Hay que tener en cuenta además que durante la degradación de la materia orgánica también se produce gas metano inflamable.

3.4.2 Identificación de incendios subterráneos

La presencia en el sitio de las siguientes condiciones indica la existencia de incendios subterráneos.

- Cavidades repentinas y hundimiento
- Grietas
- Orificios de ventilación



Fuente: Manual Fase I FOCIMIRS

Foto 12. Identificación de incendios superficiales y subterráneos.

Lo más importante para controlar los incendios es mantener un estricto control sobre los pequeños focos que se presentan y que se deben apagar prioritariamente. Si se observa humo o una pequeña llama y se apaga inmediatamente se puede evitar un gran incendio.

3.4.3 Medidas de prevención y control de incendios

La detección de incendios en las etapas iniciales es de gran importancia en un relleno para que el fuego pueda apagarse antes de que se convierta en un problema grave. Por lo tanto, la inspección de rutina diaria alrededor del SDF es importante para detectar cualquier punto de altas temperaturas, con humo o incendio.

Los incendios se pueden prevenir de la siguiente manera:

- Compactación efectiva de residuos para reducir espacios y restringir el acceso de aire.
- Cobertura con material de los residuos.
- Compactación adecuada del material de recubrimiento.

Si aparece el fuego, trate de sofocar la combustión impidiendo el acceso del aire (oxígeno) a la zona quemada, lo que generalmente se puede lograr cubriendo el área con suficiente tierra. No se recomienda el agua.

Entre las medidas de prevención se encuentran:

- Monitoreo de la temperatura externa del área, ya que a altas temperatura podría aumentar significativamente la probabilidad de incendio.
- Establecer un programa de vigilancia para prevenir la quema de residuos voluntaria e informar a tiempo cuando ocurra el incendio de manera natural.
- Estará prohibido verter agua directamente en las tuberías de ventilación de gas, ya que pueden producirse peligrosas explosiones subterráneas. Los extintores, depósitos de agua, arena, etc. deberán estar disponibles en el vertedero en todo momento.
- Las excavadoras, los camiones rociadores de agua, etc. también deberán estar completamente equipados. Sería ventajoso que el suelo de cobertura utilizado fuera ignífugo. La existencia de suelo de cobertura debe ser permanente para que cuando se produzca un incendio, puedan usarse para apagar el fuego.

3.4.4 Red de contactos de emergencia

Se debe formar y capacitar a un equipo de prevención de incendios y contingencia. El equipo será designado dentro de la plantilla de trabajadores y se elaborará y publicará una red de contactos de emergencia con un protocolo de acción inmediata. La totalidad de los miembros del equipo deberán estar capacitados en el protocolo y conocer el listado de personas de contacto. A continuación, se presenta un ejemplo de la red de contactos en la figura XX:



Fuente: Equipo de Expertos de JICA.

Figura 18. Red de contactos de emergencia para un SDF

3.5 Prácticas operativas recomendadas

La siguiente es una lista de recomendaciones para lograr una operación efectiva del SDF enfocadas en principio a un relleno sanitario correctamente manejado:

- Se recomienda considerar dentro del SDF un **área de emergencia** (no celda) de fácil acceso, que permita depositar los residuos por un máximo 72 horas; dicha área debe contar con algún tipo de impermeabilización o resguardo que permita aislar los residuos del medio ambiente. Ante el cese del evento o siniestro que causó la emergencia, los residuos deberán trasladarse a la celda diaria correspondiente. El uso de esta área será informado al MMARN.
- El SDF debe permanecer cerrado cuando no hay suficiente personal para proporcionar el servicio adecuado.
- Mantenga el menor ancho posible en el frente de trabajo.
- Mantener una separación de 2,5 a 3,0 m entre los equipos de compactación y los vehículos de recolección que ingresan al sitio.
- Los residuos deben ser esparcidos inmediatamente después de ser depositados en el frente de trabajo y no se debe permitir que se acumulen en montículos.
- Para garantizar al máximo la capacidad de la celda, los residuos deben vaciarse en la base de la celda o rampa de eliminación y trabajarse al mismo nivel. Este "fondo de descarga" reduce las posibilidades de esparcimiento de residuos debido al viento, permite la máxima compactación y mejora el control. Otra ventaja es que cuando los residuos se depositan de manera organizada en un área pequeña, la cantidad de material de cobertura utilizado también es menor.

- Los residuos deben esparcirse en la superficie del frente de trabajo en capas de entre 30 y 90 cm.
- Los residuos nunca deben depositarse en la parte delantera de aquellas zonas donde se están realizando maniobras de excavación.
- Los residuos esparcidos en el frente de trabajo deben compactarse de acuerdo con los requisitos de compactación establecidos en el plan de operación -PO-.
- Se debe promover el uso de una pendiente determinada que favorezca el ahorro de material de cobertura, así como un menor tiempo en la extensión y compactación de los residuos. Las pendientes excesivas (pendientes superiores a 3:1), dan como resultado una menor compactación.
- Una vez que el equipo de movimiento de tierras ha cargado una cantidad de material de cobertura, no debe descargarse en ningún lugar hasta que se defina el lugar donde se colocará.
- El material de cobertura debe humedecerse lo suficiente para lograr una compactación adecuada, además de controlar el arrastre del material por el efecto del viento. Sin embargo, se debe tener cuidado de medir el agua necesaria para lograr el objetivo propuesto y no agregar exceso de agua debido a problemas de obstrucción y / o escorrentía que afectarán las propiedades de la cubierta del material, resultando en problemas operativos.
- Es recomendable eliminar cualquier acumulación de agua de lluvia en las superficies llenas, dentro de un período de 72 horas, después de identificar ese problema.
- Cuando las lluvias de alta intensidad están presentes en el frente de trabajo, el agua acumulada debe bombearse a los canales de agua fuera del sitio antes de proceder a descargar los residuos sólidos.
- Todas las depresiones que aparecen en las superficies ya trabajadas, deben rellenarse lo antes posible, para evitar la acumulación de agua y de esta manera minimizar la posibilidad de infiltración de agua hacia los estratos inferiores.

4. MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL DURANTE LA OPERACIÓN DEL SDF

4.1 Control de impactos visibles durante la Operación

El control de impacto visible inmediato se refiere al control del polvo, olores, ruido, insectos, roedores y aves.

Polvo

Dentro de las medidas de control del polvo:

- Carreteras: En carreteras transitables durante todo el año (asfaltadas) solo se da mantenimiento permanente. En caminos sin pavimentar, humedezca el suelo. El cloruro de calcio en la proporción de 220 a 450 gramos por metro cuadrado también se puede aplicar al suelo previamente humedecido con agua (más del 30% de humedad).
- Almacenamiento, esparcimiento, compactación y cobertura de residuos: Áreas de trabajo húmedas para reducir el impacto en el exterior del sitio durante remolinos o vientos fuertes
- Viento: Actúa en la cubierta final y en zonas aparentemente terminadas. Para su control se recomienda plantar árboles que sirvan de barrera, con el fin de reducir su velocidad (también reduce la visibilidad del sitio).

Los **camino internos** deben ser inspeccionados y mantenidos permanentemente, ya que generalmente hay serios problemas de atascamiento de las unidades vehiculares y de interrupción de las operaciones diarias. Además, es imprescindible mantener, siempre que sea posible, los caminos húmedos para minimizar los problemas de generación de polvo, que resulta muy negativo para la estética del lugar y provoca la queja permanente de la población cercana.

Por lo tanto, si es necesario según la inspección, se recomiendan las siguientes acciones:

- Regar periódicamente las carreteras con agua tratada, preferiblemente durante las horas de mayor actividad, para evitar la generación de polvo.
- Rellenar los baches y luego compactar con un aplanador manual.
- Las cunetas de la carretera deben estar siempre libres de rocas, arena o residuos para evitar su obstrucción.
- Mantenimiento de las condiciones de rodamiento de las carreteras, preferiblemente

Olores

Los olores suelen ser de naturaleza estacional y se pueden controlar a través de:

- La colocación de una cubierta sobre aquellos residuos que hayan alcanzado un avanzado estado de descomposición; si requieren un manejo especial, se recomienda descargarlos y cubrirlos de inmediato. El plan de control en las áreas de trabajo dependerá de la dirección del viento.
- Ventilación adecuada del biogás.
- Recolección, minimización y tratamiento de lixiviados.

Ruidos

El ruido se puede controlar a través de:

- Manejo adecuado de las fases de operación para crear una zona de amortiguamiento o barrera entre la fuente y el receptor.
- Mantenimiento adecuado de los equipos.
- Regular las horas de operación de tal manera que sea compatible con los usos del suelo adyacentes.
- Distancias adecuadas.
- Insectos y roedores

Los insectos básicamente incluyen moscas y mosquitos, pero no solo estos. Los posibles problemas de insectos son principalmente la transmisión de enfermedades, mala imagen e incomodidad a los residentes cercanos. El control de insectos se puede realizar mediante:

- La cobertura oportuna de los residuos, para poner fuera de alcance los alimentos, refugio y áreas para la reproducción.
- Aplicación de soluciones insecticidas, sobre los residuos vertidos en el frente de trabajo.
- En cuanto a los roedores:
- La cobertura oportuna de los residuos, para poner fuera de alcance los alimentos, refugio y áreas para la reproducción.
- Aplicación de plaguicidas sobre los residuos vertidos en el frente de trabajo.

Aves

Las gaviotas a menudo usan los SDF como fuente de alimento. Su presencia constituye un riesgo para las aeronaves que vuelan en el espacio aéreo del SDF y una fuente de contaminación para las aguas superficiales.

El control de aves es muy difícil. Algunos de estos podrían pertenecer a especies protegidas o en peligro de extinción y, por lo tanto, requerir permisos especiales si se quiere establecer un programa de eliminación.

Un método exitoso en el control de aves es el uso de cuerdas elevadas sobre el SDF, que causan interferencias en el sistema de radar de gaviotas y otras aves. A continuación, se enumeran otros métodos para el control de aves que se han utilizado con diversos grados de éxito:

- Cobertura oportuna de residuos.
- Sistemas de emisión de ruido.
- Uso de venenos y cebos.
- Emisión de grabaciones con sonidos de aves en situación de peligro.

4.2 Monitoreo Ambiental

Los sistemas de monitoreo se utilizan para identificar los posibles impactos del SDF en el medio ambiente. Como se ha explicado, los impactos ambientales de una disposición a cielo abierto y los productos resultantes de la descomposición de los residuos se asocian principalmente a la producción de biogás y lixiviados. Por ello, es muy importante darles el mantenimiento y el seguimiento necesario.

En los siguientes acápite, se presentan los parámetros de monitoreo recomendados para una instalación de disposición final de residuos, pero los parámetros a monitorear en cada caso deberán ser confirmados por el MMARN según las condiciones particulares de cada SDF, que irán relacionadas a la capacidad del SDF, vulnerabilidad de la zona en que se encuentre y a las disposiciones de su Permiso Ambiental en los casos aplicables. En el Manual de CAS, se detallan todos los parámetros que pudieran requerirse para cada elemento.

4.2.1 Monitoreo de las aguas subterráneas

Uno de los peligros potenciales de mayor magnitud que pueden derivarse de un SDF es la fuga y la migración de lixiviados a las masas de agua subterránea.

En cada SDF es necesario controlar la contaminación del agua lixiviada y el impacto en la calidad de las aguas subterráneas. Se recomienda realizar el análisis en tres lugares diferentes, perforando con un agujero hasta el nivel de la primera capa freática. El muestreo debe realizarse al menos 2 veces al año, según la normativa dominicana. La norma de referencia es "Calidad de las aguas subterráneas y descargas al subsuelo".

El objetivo del monitoreo de las aguas subterráneas es:

- Comprobar que el sistema de revestimiento y/o la capa de impermeabilización del vertedero funcionan correctamente (no hay fugas de lixiviados).
- Verificar el grado de propagación de las sustancias nocivas contenidas en el flujo de lixiviados hacia las aguas subterráneas.
- Comprobar el grado de contaminación del entorno en caso de fallo del sistema de revestimiento y/o de la capa de impermeabilización.

Hay algunos casos en los que el análisis de las aguas subterráneas no es necesario⁶:

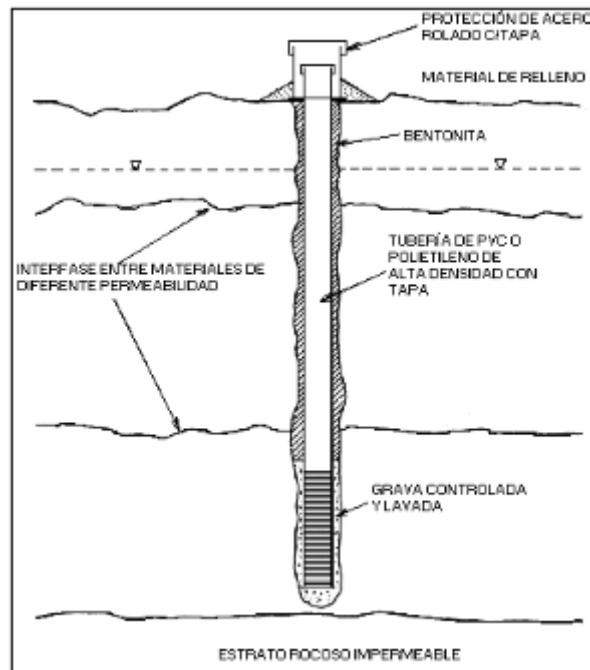
- Sitios donde nivel freático es muy profundo (más de 40 m por debajo de la capa inferior del relleno).
- Sitios con una barrera geológica impermeable.
- Regiones áridas con menos de 300 mm de precipitación anual.

Se recomienda analizar a fondo las aguas subterráneas en las siguientes situaciones:

- Rellenos con un nivel freático muy alto (3 m o menos por debajo de la capa inferior del vertedero).
- Si existe una captación de agua (para riego o suministro de agua potable) en la misma cuenca del vertedero y en el nivel más bajo del mismo.
- SDF grandes
- SDF cercanos a comunidades en los que el agua se suministra mediante pozos (aquí se pueden tomar pruebas de los pozos más cercanos para abaratar los costos).

6. Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios manuales. Ecuador, 2002. Página 105

- SDF medianos y grandes con una capa inferior impermeable mal construida.
- SDF contruidos en suelos arenosos u otros suelos altamente permeables.



Fuente: Operación del Relleno Sanitario MT. SEDESOL, México.

Figura 19. Esquema de un pozo para el monitoreo de las aguas subterráneas

De acuerdo con las normas del MMARN, a continuación, se resumen los siguientes parámetros ambientales sobre la calidad del agua (Norma A) y sobre descargas a las aguas subterráneas y al suelo (Norma B), que deben cumplirse para la operación del SDF.

Tabla 6. Extracto tabla parámetros medibles según Normas ambientales para la calidad del agua

Parámetros	Norma A	Norma B
Temperatura total (NTU) / 100mL	1,000	1,000
Temperatura fecales (NTU) / 100mL	1,000	1,000
Color aparente (Pt-Co)	50	50
pH	6.5-8.5	6.0-8.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	5	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	-	400
Sólidos suspendidos totales	-	50
Sólidos totales disueltos	1,000	-
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄)	0.5	20
Nitrógeno total	-	30
Acetatos y grasas	1	10
Hodoro total	0.025	3
Oxígeno disuelto (% de saturación)	> 70	-
Nitrato de nitrógeno + nitrato de nitrógeno	10	15
Cianuro total	0.1	0.2

Fuente: Norma Ambiental sobre calidad de aguas y descargas al subsuelo. Ministerio de Medio Ambiente de la República Dominicana.

4.2.2 Monitoreo de las aguas superficiales

Las aguas superficiales circundantes también podrían verse afectadas por los lixiviados, por lo que el monitoreo de la calidad de las aguas superficiales debe ser un componente rutinario cuando se sepa o se sospeche que los lixiviados están afectando a las aguas superficiales circundantes o cuando exista alguna preocupación por la calidad de estas. El costo podría ser muy elevado para los municipios pequeños y medianos. Se recomienda realizar análisis a pesar del costo, en los siguientes casos:

- Cuando el SDF está en un área protegida. Cabe destacar que en la República Dominicana está prohibida la instalación de SDF en áreas protegidas.
- Cuando las aguas tratadas se descargan en un medio muy susceptible (río con muy poco caudal, río habitado por especies acuáticas endémicas, ecosistemas acuáticos susceptibles, etc.).
- Cuando el medio receptor central sirve para el suministro de agua potable o para el riego.

No existe aún una normativa local sobre los límites máximos permisibles para la descarga de aguas superficiales desde los SDF. Como referencia, la siguiente tabla muestra los límites permisibles para las descargas en aguas superficiales de las instalaciones de aguas residuales:

Tabla 7. Extracto tabla límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales en masas de agua superficiales:

Parámetros	Límite
*pH	6.5-8.5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (mg/L)	50
Demanda química de oxígeno (DQO), (mg/L)	160
Sólidos suspendidos totales (SST), (mg/L)	50
Nitrógeno de nitrato y nitrito (NO ₃ N + NO ₂ -N), (mg/L)	10
*Coliformes totales, (NMP/100mL)	1,000

Fuente: Norma Ambiental sobre control de descargas a aguas superficiales, alcantarillado sanitario y aguas costeras. MMARN.

4.2.3 Monitoreo del aire

En la fase de operación, durante el transporte de los residuos al SDF, sobre todo en caminos no pavimentados, se tomarán las medidas necesarias para minimizar la generación de polvo y los impactos negativos derivados de las poblaciones cercanas. La operación del SDF debe cumplir las siguientes normas de calidad del aire.

Tabla 8. Normas de calidad del aire

Contaminante	Tiempo medio	LÍMITE PERMISIBLE (µg/Nm ³)
Total de partículas en suspensión (TSP) *1	Anual	80
	24 horas	230
Fracción de partículas (PM-10)	Anual	50
	24 horas	150
Fracción de partículas (PM-2,5)	Anual	15
	24 horas	65
Dióxido de azufre (SO ₂)	Anual	100
	24 horas	150
	1 hora	450
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Anual	100
	24 horas	300
	1 hora	400
Ozono (O ₃)	8 horas	160
	1 hora	250
Monóxido de carbono (CO)	8 horas	10,000
	1 hora	40,000
Hidrocarburos (no metano) (CH)	3 horas	160
Plomo	Trimestral	1.5
	Anual	2.0

Fuente: Norma ambiental de calidad del aire (NA-AI-001-03)

*1Partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera (su diámetro va de 0,3 a 10 µm) como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen.

4.2.4 Monitoreo de Ruido

En la fase de operación del SDF, se tomarán las medidas necesarias para minimizar la generación de ruido y los impactos negativos derivados a las poblaciones cercanas.

Los niveles de emisiones de ruidos máximos permisibles se muestran en la Tabla 10. Estos valores se determinan de acuerdo con el uso del terreno:

Tabla 9: Niveles de emisiones de ruidos máximos permisibles en decibeles (dB) (A)

CATEGORÍAS DE ÁREAS		Ruido externo dB(A)	
		DIURNO (7 AM - 9 PM)	NOCTURNO (9 PM - 7 AM)
Área I: Zonas de Tranquilidad	Hospitales, centros de salud, bibliotecas	55	50
	Oficinas y escuelas	60	55
	Zoológico, Jardín Botánico	60	55
	Áreas de quietud para la preservación de hábitat	60	50
Área II: Zona Residencial	Área Residencial	60	50
	Área Residencial con industrias o comercios alrededor	65	55
Área III: Zona Comercial	Área Industrial	70	55
Área IV: a) Carreteras con uno o más Carriles y una Vía	Área Comercial	70	55
	A través de Área I	60	50
	A través de Área II	65	55
	A través de Área III	70	60
	A través de Área I	65	55
Área IV: b) Carreteras con dos o más carriles y varias vías	A través de Área II	65	60
	A través de Área III	70	65

Fuente: Norma Ambiental para la protección contra ruidos (NA-RU-001-03), MMARN

Las actividades esperadas en el SDF que generan ruidos se muestran en la Tabla XX. Según el valor de la regulación para equipos de construcción es de 95 (dB)A (7:00 AM - 7:00 PM) y las operaciones después de las 7:00 p.m. están prohibidas.

Tabla 10: Regulaciones para actividades específicas

ACTIVIDAD	ÁREAS	PERÍODO	PARÁMETRO (dB) A
Bocinas vehiculares	Todas las áreas	Diurno	70
		Nocturno	70
Alto parlantes	Todas las áreas, excepto las de tranquilidad.	Diurno	70
	Áreas de tranquilidad	Nocturno	Prohibido
Equipos de construcción de obras públicas y privadas	En todas las áreas	7:00 a.m.-7:00 p.m.	Prohibido
		Nocturno	95*1

*1 Este valor es un promedio, permitido al equipo o maquinaria, se deben tomar medidas de protección y mitigación para mantener los niveles de áreas establecidos en esta Norma.

Fuente: Norma Ambiental para la protección contra ruidos (NA-RU-001-03), MMARN

En la siguiente tabla 12 se presenta la frecuencia recomendada de monitoreo para cada componente ambiental:

Tabla 11. Frecuencia recomendada de monitoreos ambientales

No. Componente	Frecuencia de monitoreo	
	Durante operación	Después del cierre
1 Aire: partículas de polvo	Semestral	X
2 Ruido	Semestral	X
3 Aguas subterráneas	Semestral	Anual (Si se tiene disponibilidad para la toma de muestra)
4 Aguas superficiales	Semestral	Semestral

Fuente: JET

5. ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DE COSTOS RELATIVOS A LA OPERACIÓN

No debe olvidarse que todas las operaciones que impliquen el buen funcionamiento de un SDF no pueden realizarse de manera eficiente y eficaz sin una buena gestión y control de los costos implicados.

Controlar los costos de la gestión de un SDF es una tarea que requiere un seguimiento cuidadoso para garantizar la sostenibilidad financiera de la operación en el tiempo. La coordinación eficaz de todas las actividades y del personal que las realiza es una tarea sumamente importante, siendo necesario tomar en cuenta los siguientes factores para estimar los costos operacionales:

- Operación y mantenimiento (personal, infraestructura, mantenimiento de equipos, herramientas, construcciones auxiliares, etc.).
- Herramientas y equipos (adquisición y reposición).
- Suministro y transporte de material de cobertura.
- Alquiler de equipos (si no son propios) para adecuación del sitio, apertura del camino de acceso, excavación de zanjas.
- Combustible, piedras, alambre, materiales de construcción, agua.
- Costos indirectos (administración, supervisión, monitoreos, etc.).

Cuando se trate de un SDF nuevo, la persona a cargo del diseño deberá proveer un presupuesto de operación para la infraestructura que haya considerado, ya que los costos operativos juegan un papel importante a la hora de definir el tipo de instalación, método y la tecnología a utilizar en cualquier obra de ingeniería.

El operador del SDF deberá calcular los costos anuales del servicio de disposición final para establecer la tarifa de pago de cada usuario. Los ingresos deben superar a los costos operativos o compensarse con un subsidio por otras fuentes. Los elementos a considerar se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12. Costos operativos a considerar

Costos operativos	Tomar en cuenta
Salarios, seguros y Prestaciones	Según las leyes vigentes (no solo para los empleados, también para los equipos)
Mantenimiento y reparación	Mantenimiento regular, compra de neumáticos, otros.
Combustible	Gasto/hora de equipos
Material para cobertura de celdas y mantenimiento de vías	Suministro y acarreo del material (si dentro del sitio solo acarreo por uso de equipos)
Alquiler/Arrendamiento	Cantidad de equipos requeridos para la operación, gasto de depreciación, reposición según la vida útil del equipo.
Servicio de contrato/Gestión	Si es un operador privado se deberá considerar la rentabilidad esperada (ganancias) que, por lo general, si lo opera el municipio no se considerarán ya que el objetivo del municipio es ofrecer el servicio.
Interés	Generalmente no se cuenta con los fondos para hacer la inversión en su totalidad. Se deben considerar los costos de financiamiento asociados.
Compra/arrendamiento del terreno	Este costo asociado es de suma importancia, ya que es uno de los que mayor inversión requiere dependiendo el estatus legal del terreno.
Seguimiento y monitoreo Ambiental	Uso de laboratorios para toma de muestras, uso de camiones sistema para recirculación de lixiviados (si la hay), alquiler de bombas.

Fuente: Equipo de Expertos de JICA

Entonces, para determinar la tarifa del servicio, será necesario considerar:

Alcance la actividad:

Establecer lo que necesita ser cubierto por la tarifa.



Fuente: Equipo de Expertos de JICA

Figura 20. Determinación del Alcance de la actividad

Determinación del Alcance del Costo:

Definir el alcance de los costos a cubrir (el costo de operación, el costo del ciclo de vida del proyecto, etc.)



Fuente: Equipo de Expertos de JICA

Figura 21. Determinación del Alcance del Costo

Determinación de la Recuperación de Costos por Tarifa:

Si el operador del sitio es el municipio, se debe decidir la proporción del costo neto anual a ser cubierto por la tarifa en base al volumen de residuos y subsidio cruzado entre las diferentes tarifas que establezca el municipio. Si el nivel de tarifa no se encuentra dentro del nivel de asequibilidad o capacidad de pago de los municipios, los municipios deben reconsiderar el índice de recuperación de costos (es decir, deben cubrir más del presupuesto general), o subsidio cruzado por los usuarios.

Finalmente, se deberá considerar el **factor socioeconómico y la capacidad de pago** de los usuarios del servicio de disposición final.

Según datos obtenidos de la Asociación Municipal de ASINORLU en El Salvador, que cuenta con condiciones muy similares a las de República Dominicana, el costo por **tonelada tratada** en su Relleno Sanitario ronda los **US18/tonelada**, por lo que se tiene establecida una tarifa por el servicio de US23/tonelada para los miembros de la Mancomunidad de ASINORLU y de US28-35/tonelada para los no miembros, dependiendo su origen (municipal, comercial, gran generador). El resumen se muestra a continuación:

Tabla 13. Costos y tarifas servicio disposición final

Concepto	Monto USD/tonelada
Costo por tonelada tratada	18
Tarifa por tonelada dispuesta para miembros Mancomunidad	23
Tarifa por tonelada dispuesta para NO miembros Mancomunidad (dependiendo su origen: municipal, comercial, gran generador).	28-38
Tarifa por tonelada dispuesta de residuos especiales (confiscados por Aduanas u otros bajo categoría similar)	55

Fuente: ASINORLU – El Salvador, Año 2023.-

Como un punto clave para lograr una gestión exitosa, la administración del SDF también debe considerar las **relaciones públicas** como un factor prioritario tanto durante su construcción, operación, como después de su clausura, ya que la opinión pública juega un papel decisivo en la promoción y divulgación de las bondades de esta obra de saneamiento básico para el bienestar de la comunidad y el medio ambiente en general.

6. FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

1. Alexandra, L. V. S. (2002). Cierre técnico del botadero a cielo abierto del cantón Mejía utilizando el programa HELP. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/396>
2. Hernández, C., & Wehenpohl, G. (2000). MANUAL PARA LA REHABILITACIÓN, CLAUSURA Y SANEAMIENTO DE TIRADEROS A CIELO ABIERTO EN EL ESTADO DE MÉXICO. <http://www.resol.com.br/textos/GTZ-SEGEM-ManualClausura.pdf>
3. MMAyA/VAPSB/DGGIRS, Bolivia (2012). Guía para el Cierre Técnico de Botaderos
4. MMAyA/VAPSB/DGGIRS, Bolivia (2012). Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios
5. USAID – CCAD (2010). MANUAL DE PROTOCOLO DE CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS RELLENOS SANITARIOS CON REVESTIMIENTOS COMPUESTOS
6. Jorge Jaramillo (2002). GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES
7. SEMARNAT (2009). MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)
8. Entidad Municipal de Aseo Villazón (2018). MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RELLENOS SANITARIOS PARA RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL (RME)”
9. SEDESOL. MANUAL PARA LA OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS
10. Secretaría de Estado de Relaciones Públicas y Comunicaciones, Dirección General de Reglamentos y Sistemas (1987). RECOMENDACIONES PROVISIONALES PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE EN CARRETERAS
11. (2019). Guía para la construcción de rellenos sanitarios en municipios del norte de Boyacá. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/10901/20294>.
12. Weihs, J. P. (2012). Fundamentos sobre los Rellenos Sanitarios. https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20110627_weihs.pdf
13. Jiménez, T. (2021). Generación de lixiviados en vertederos [Trabajo Fin de Grado]. Universidad de Sevilla.
14. Prefecture of Fukuoka. (s. f.). Guide to Introducing The Fukuoka Method. https://www.pref.fukuoka.lg.jp/uploaded/life/640985_61334511_misc.pdf

