

CIERRE TÉCNICO Y REHABILITACIÓN DE BOTADEROS

Lecciones aprendidas y buenas prácticas en los municipios de Boyuibe, Cuevo y Lagunillas del Chaco Cruceño



CIERRE TÉCNICO Y REHABILITACIÓN DE BOTADEROS

Lecciones aprendidas y buenas prácticas en los municipios
de Boyuibe, Cuevo y Lagunillas del Chaco Cruceño

Autores

Sergio Mauricio Morales
Reider Hipolito Cari Ruiz

Revisión

Mariana Daza von Boeck

Edición

Rigliana Portugal Escóbar

Fotografías

Proyecto Basura Cero en Bolivia de la Agencia Sueca de Desarrollo
Internacional

Impresión

INK print

Nº de depósito legal

4-1-4371-2023

La Paz, julio 2023

Disponible en:

Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI)

Embajada de Suecia en Bolivia

Edificio Multicine, Av. Arce Nro. 2631, La Paz

embajada@sueciaenbolivia.com

Esta es una publicación del Proyecto Basura Cero en Bolivia de la
Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo
(ASDI), implementado por HELVETAS Swiss Intercooperation
Bolivia, Swisscontact y la Fundación Aguatuya.





Índice

Presentación	1
Introducción	2
Antecedentes	3
1. Lineamientos normativos y estratégicos	5
1.1. Acuerdos internacionales	5
1.2. Marco legal general	6
1.3. Marco legal específico	7
1.4. Alineación a la política sectorial	8
1.5. Actores directos e indirectos	9
2. Situación inicial	10
2.1. Municipio de Lagunillas	11
2.2. Municipio de Boyuibe	13
2.3. Municipio de Cuevo	15
3. Descripción de la experiencia de cierre y rehabilitación de botaderos	17
3.1. Etapa 1: Diagnóstico	17
3.1.1. Determinación del derecho propietario	17
3.1.2. Estudios complementarios	18
3.2. Etapas 2 y 3: Proyecto técnico y su implementación	23
3.2.1. Difusión del cierre técnico del botadero	23
3.2.2. Procedimiento de cierre técnico	23
M1: Macrocela de cierre técnico	24
M2: Macrocela de operación como relleno sanitario	27
M3: Geotanque de lixiviados y manejo de biogás	31
M4 y M5: Vías de acceso, seguridad, obras de arte, cerco perimetral y portón	32
3.3. Etapa 4: Operación y mantenimiento de los botaderos rehabilitados	33
3.3.1. Calendarización de la celda	33
3.3.2. Delimitación de la subcelda	34
3.3.3. Recepción y descarga de residuos	35
3.3.4. Distribución de residuos	36
3.3.5. Selección de residuos inorgánicos en sitio	36
3.3.6. Compactación de residuos	37
3.3.7. Cobertura temporal de residuos con geosintéticos	38
3.3.8. Cobertura final térrea	39
4. Lecciones aprendidas	41
Referencias	45
Glosario de Términos	46



Presentación

Con la promulgación de la Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos en octubre de 2015, la gestión integral de residuos sólidos en Bolivia recupera importancia y visibilidad en la agenda pública, estableciendo una serie de obligaciones y compromisos de los diferentes niveles de gobiernos y otros actores en el marco de la corresponsabilidad. Entre estas responsabilidades, los Gobiernos Autónomos Municipales encargados de los servicios de aseo urbano, deben desarrollar acciones para el cierre de botaderos a cielo abierto.

La disposición final de residuos sólidos es una de las etapas de la gestión operativa que presenta los mayores desafíos por la persistencia de botaderos a cielo abierto. Actualmente en Bolivia existen 30 municipios con relleno sanitario en operación y siete municipios con relleno sanitario construido pero sin operación. El resto de municipios tienen botaderos a cielo abierto.

Ante esta situación, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua ha aprobado la planificación para el cierre de botaderos en la gestión 2021 estableciendo la posibilidad de realizar el cierre y la posterior rehabilitación de botaderos como alternativa para que los municipios den cumplimiento a la norma.

El presente documento tiene el propósito de compartir las experiencias en el fortalecimiento y desarrollo de capacidades técnicas y administrativas para la clausura y rehabilitación de tres botaderos a cielo abierto en el chaco cruceño. El material ha sido desarrollado por el proyecto Basura Cero de la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) que implementa HELVETAS Swiss Intercooperation – Bolivia, Swisscontact y Aguatuya. Estamos seguros que las buenas prácticas y lecciones aprendidas que se comparten, aportarán en el camino hacia el fortalecimiento de la gestión integral de residuos sólidos.

¡Buena lectura!

Mariana Daza von Boeck
Gerente del Subprograma de Territorios Resilientes
Directora Proyecto Basura Cero

Introducción

Este documento aborda el proceso de cierre y rehabilitación de los botaderos de los municipios de Lagunillas, Boyuibe y Cuevo en el Chaco Cruceño, Provincia Cordillera del Departamento de Santa Cruz en Bolivia. Se constituye en una de las primeras experiencias de aplicación de la Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, aprobada en mayo 2021.

Tiene el objetivo de recuperar las experiencias, buenas prácticas y lecciones aprendidas del proceso de cierre y rehabilitación en los municipios de Lagunillas, Boyuibe y Cuevo, identificando características y necesidades regionales desde la planificación sectorial, con perspectiva de sostenibilidad, replicabilidad y escalamiento.

El contenido se divide en cuatro partes, la primera describe los acuerdos internacionales, marco normativo e instrumentos de planificación nacional y sectorial en los que se enmarca la gestión de residuos y el cierre de botaderos. La segunda describe la situación inicial al ingresar a los municipios de Lagunillas, Cuevo y Boyuibe determinando una aproximación al contexto; la tercera parte describe todas las intervenciones para el cierre técnico y rehabilitación de los tres botaderos situados en el chaco cruceño; y finalmente, se comparten desde la gestión del conocimiento, las lecciones aprendidas que aportan desde la experiencia.

El proyecto Basura Cero de la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) ha preparado este material de forma didáctica para que sea de fácil comprensión y sobre todo de uso ágil y pertinente por parte de las personas interesadas en la temática.

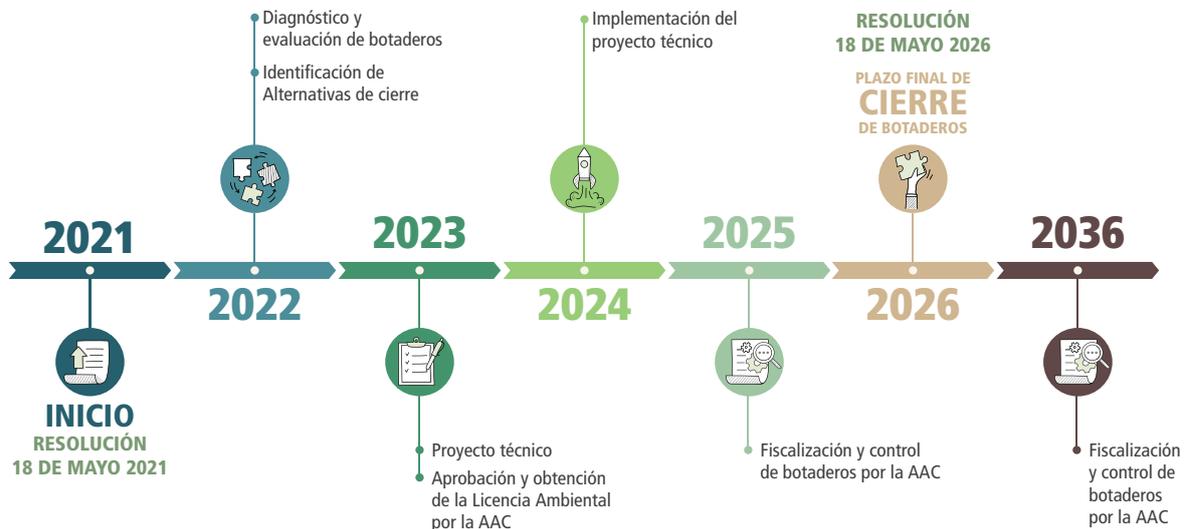


Antecedentes

El enfoque de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) se orienta a reducir la generación de residuos promoviendo la separación en origen, recolección selectiva y el aprovechamiento. Esta gestión tiene como fin que los residuos reutilizables y aprovechables no ingresen a disposición final, prolongando de esta forma el tiempo de vida de los rellenos sanitarios. La GIRS en Bolivia está reglamentada en la Ley N° 755, que establece la política general y el régimen jurídico aplicables en el marco de los derechos de la Madre Tierra, el derecho a la salud y a vivir en un ambiente sano y equilibrado.

La Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos en el Estado Plurinacional de Bolivia fue aprobada mediante Resolución Ministerial N° 269/2021. En ella se insta el procedimiento y los instrumentos que los municipios deben generar para el cierre de estos sitios como se observa en la Figura 1. Asimismo, se incluye la alternativa de rehabilitación para convertirlo en relleno sanitario como "opción técnica válida que implica recuperar o restituir la capacidad de un sitio de disposición final utilizado como botadero para servir como relleno sanitario con el objetivo de continuar con la disposición final de residuos sólidos de una forma segura desde un punto de vista ambiental y de salud".

Figura 1. Línea de tiempo para el cierre técnico de botaderos en Bolivia



Nota. La figura refleja los hitos más relevantes del proceso de cierre técnico de botaderos a partir de la adopción de la Resolución N° 269 de 18 de mayo de 2021, hasta la clausura definitiva proyectada en mayo de 2026 (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2021).

Los botaderos a cielo abierto constituyen una problemática ambiental y socio cultural muy compleja debido a la contaminación de los cursos de agua, lo que significa la disminución del recurso disponible para consumo humano, riego o recreación, y que puede ocasionar la muerte de la fauna acuática y el deterioro del paisaje. Por otro lado, los malos olores, la emisión descontrolada de gases de efecto invernadero (Dioxido de carbono, Metano, entre otros), la quema de los residuos, con el riesgo de que se produzcan incendios, preocupan a las poblaciones que viven en los alrededores, tomando en cuenta además otros impactos asociados a la contaminación atmosférica.

La disposición de residuos a cielo abierto o en un sitio mal operado contamina el suelo y acuíferos superficiales y subterráneos con microorganismos patógenos (en el caso de depósito de residuos bioinfecciosos) y metales pesados, considerando además la disposición de sustancias tóxicas y residuos peligrosos. Estos contaminantes se acumulan en el líquido lixiviado.

De igual manera, es frecuente la existencia de segregadores informales de residuos en los botaderos, personas expuestas a todos los aspectos de contaminación descritos con anterioridad y que en su mayoría, no cuentan con elementos de protección personal.

El Diagnóstico Nacional de Residuos (2022) muestra que el 61% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, el 39% de los residuos se disponen en botaderos a cielo abierto, por lo que bajo el escenario planteado, el proyecto Basura Cero en Bolivia ha realizado el cierre y rehabilitación de los botaderos a cielo abierto de los municipios de Boyuive, Cuevo y Lagunillas, con la perspectiva de aportar para que sirvan como modelo de implementación de la norma y planificación vigente.



1. Lineamientos normativos y estratégicos

Dentro del vasto campo normativo ambiental y de derechos humanos vigente en el país, tienen importante lugar los acuerdos internacionales ratificados por el país, la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia y las leyes nacionales, tanto de carácter general, como específico del sector

1.1 Acuerdos internacionales

Bolivia es signataria de varios acuerdos internacionales que procuran la reducción o eliminación de interferencias antrópicas en el sistema climático, la promoción de la participación, información y acceso al derecho a un medio ambiente sano.

Tabla 1. Acuerdos internacionales firmados por Bolivia

TRATADO	CARACTERÍSTICAS GENERALES
<p>Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático</p> <p>Estado: ratificación Fecha: 03-oct-94</p>	<p>La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) fue adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994. Tiene por objetivo lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.</p>
<p>Convenio de Basilea</p> <p>Estado: ratificación Fecha: 15-nov-96</p>	<p>La Convención de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación es el Tratado Multilateral de Medio Ambiente que se ocupa más exhaustivamente de los desechos peligrosos y otros desechos.</p>
<p>Convenio de Estocolmo</p> <p>Estado: ratificación Fecha: 03-jun-03</p>	<p>El Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) es un acuerdo internacional que regula el tratamiento de las sustancias tóxicas. Fue firmado el 23 de mayo de 2001 en Estocolmo y entró en vigor el 17 de mayo de 2004. Inicialmente el Convenio regulaba doce productos químicos incluyendo productos generados intencionadamente, tales como: pesticidas, PCB; dioxinas y furanos.</p>
<p>Convenio de Róterdam</p> <p>Estado: adhesión Fecha: 18-dic-03</p>	<p>El Convenio de Róterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo, aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional entró en vigor el 24 de febrero de 2004.</p>

Nota. Estos son los tratados más relevantes vinculados a la gestión de residuos, sustancias y desechos peligrosos, en Naciones Unidas y que son vinculantes (obligatorios) para los países miembro, como Bolivia. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2022) con ajustes y actualizaciones propias.

A su vez, en el marco de la Agenda 2030, los procedimientos de Cierre Técnico y Rehabilitación se enmarcan en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, para lograr ciudades y asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, promoviendo modalidades de consumo y producción sostenibles y combatientes ante el Cambio Climático y sus efectos (Figura 2).

Figura 2. Alineación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS



Nota. Los objetivos del Desarrollo Sostenible están ratificados desde septiembre de 2015 a través de la adopción de la Agenda 2030 por parte de la Organización de Naciones Unidas de la cual Bolivia forma parte y que tiene un horizonte de 15 años.

1.2 Marco legal general

La Ley N° 1333 de Medio Ambiente y sus reglamentos, son las normas de carácter general. A partir de 2009, con la adopción de una nueva ley fundamental, se han aprobado normas y rige un sistema autonómico que refuerza la necesidad de coordinación entre los distintos niveles gobierno, para el ejercicio de sus competencias ambientales. A nivel normativo destacan:

- **Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia**, 7 de febrero de 2009.
- **Ley N° 031 Marco de Autonomía y Descentralización "Andrés Ibáñez"**, 10 de julio de 2010.
- **Ley N° 071 de Derechos de la Madre Tierra**, 21 de diciembre de 2010.
- **Ley N° 300 Marco de la Madre Tierra Desarrollo Integral para Vivir Bien**, 5 de septiembre de 2012.
- **Ley N° 1333 del Medio Ambiente del 27 de abril de 1992 y decretos reglamentarios, en lo que corresponda.**

Es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente (Art. 342 de la CPE). Asimismo, prevé como deber de los bolivianos proteger y defender un medio ambiente adecuado para el desarrollo de los seres vivos (Art. 108 de la CPE). Concretamente las siguientes competencias son concurrentes entre el nivel central del Estado y los gobiernos autónomos: Preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y fauna silvestre manteniendo el equilibrio ecológico y el control de la contaminación ambiental (Art. 299. II. Num.1), así como los residuos industriales y tóxicos (Num. 8) y los proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos (Num. 9).

Esto quiere decir, que la atribución legislativa le pertenece al nivel central y los otros niveles ejercen simultáneamente las facultades reglamentaria y ejecutiva; lo cual se complementa con el establecimiento de la competencia exclusiva de los gobiernos municipales sobre: el aseo urbano, manejo y tratamiento de residuos sólidos en el marco de la política del Estado, ello significa que las alcaldías reúnen las facultades de legislación, reglamentación y ejecución en esta materia. Estas competencias están desarrolladas en la Ley N° 031.

La Ley N° 071 de Derechos de la Madre Tierra, reconoce los derechos de la misma, así como las obligaciones y deberes del Estado y de la sociedad para garantizar el respeto de estos derechos. La Ley N° 300 Marco de la Madre Tierra Desarrollo Integral para Vivir Bien, establece la visión y los fundamentos del desarrollo integral en armonía y equilibrio con la Madre Tierra para Vivir Bien, garantizando la continuidad de la capacidad de regeneración de los componentes y sistemas de vida, recuperando y fortaleciendo saberes locales y conocimientos ancestrales, en el marco de la complementariedad de derechos, obligaciones y deberes.

En ese ámbito, la Ley N° 1333 de Medio Ambiente y su reglamentación tienen como finalidad la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del ser humano sobre la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población. Para este fin se propone el control estricto de actividades “que conlleven efectos nocivos o peligrosos para la salud y/o deterioren el medio ambiente y los recursos naturales” (Art.1).

1.3 Marco legal específico

El marco normativo específico desarrolla las directrices orientadoras del proceso de gestión de residuos e identifica instancias y atribuciones, está constituido por:

- **Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos de 28 de octubre de 2015.**
- **Decreto Supremo N° 2954 de 19 de octubre de 2016 que reglamenta la Ley N° 755.**

La Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos, establece la política general y el régimen jurídico de la gestión integral de residuos, priorizando la prevención para la reducción de la generación de estos, su aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura, en el marco de los derechos de la Madre Tierra, el derecho a la salud y a vivir a un ambiente sano y equilibrado.

Entre otros fundamentales avances se determina el cierre de botaderos¹ y la remediación de sitios contaminados y la implementación de rellenos sanitarios (Art. 9), además del reconocimiento del rol y contribución de las personas dedicadas al reciclaje estableciendo pautas para su formalización y la mejora de las condiciones técnicas y laborales en general.

El Reglamento General de la GIRS, establece los lineamientos para la clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental de botaderos de acuerdo con norma técnica, incorporando a los Gobiernos Autónomos Departamentales como responsables del seguimiento a estos procesos (Art. 76).

Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos en el Estado Plurinacional de Bolivia

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua a través de la Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos, mediante Resolución Ministerial N° 269/2021 del 18 de mayo de 2021, aprobó la Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos en el Estado Plurinacional de Bolivia, el cual incluye áreas contaminadas por residuos y confiere el plazo de cinco años para su cumplimiento en el marco de la protección de la Madre Tierra y la salud.

En ese contexto, los procedimientos de Cierre Técnico y Rehabilitación de Botaderos fueron encaminados en armonía a los lineamientos estratégicos normativos y la planificación Nacional, como se observará a continuación.

1.4 Alineación a la política sectorial

En el marco del Sistema de Planificación Integral del Estado, la Planificación del Subsector de Residuos Sólidos, se encuentra instituida en los siguientes instrumentos de alcance nacional:

Plan de Desarrollo Económico Social 2021-2025

El Plan de Desarrollo Económico y Social (PDES) 2021 – 2025, aprobado mediante Ley N° 1407 de fecha 09 de noviembre de 2021 es el instrumento del cual se desprenden las políticas sectoriales y territoriales, y reconoce la necesidad de avanzar hacia la reducción de la contaminación ambiental y el establecimiento de una economía circular, recogida en el eje 8 (Tabla 2), que incluye la gestión de residuos de la siguiente manera:

Plan Sectorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien: Sector de Saneamiento Básico 2021-2025

Establece la política para el aprovechamiento, disposición e industrialización además del régimen de responsabilidad extendida del productor (Tabla 3).

¹ La norma en sus disposiciones transitorias determina que los botaderos y áreas contaminadas por residuos deben ingresar a procesos de clausura, cierre técnico y saneamiento ambiental, en un plazo máximo de cinco (5) años, de acuerdo con la planificación que emita el Ministerio cabeza de sector. Este plazo ha sido ampliado mediante la Resolución Ministerial N° 269/2021 del Ministerio de Medio Ambiente y Agua que aprueba la Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos en el Estado Plurinacional de Bolivia.

Tabla 2. Residuos sólidos en el PDES

EJE PDES	
Eje: 8) Medio ambiente sustentable y equilibrado en armonía con la Madre Tierra.	
Meta: 8.3) Promover sistemas de vida con un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado en armonía con la Madre Tierra.	
Resultado: 8.3.1) Se ha promovido una mayor capacidad de gestión ambiental para un medio ambiente saludable, con calidad y menor contaminación.	
Acciones: 8.3.1.2) Acciones: 8.3.1.2) Consolidar la gestión y promoción para la implementación de infraestructuras para aprovechamiento, disposición final e industrialización de los residuos sólidos y establecer el régimen de responsabilidad de los residuos post consumo, en armonía con la Madre tierra.	
Indicadores Número de municipios con infraestructura en aprovechamiento o disposición final de residuos sólidos o cierre de botaderos.	
Línea Base 26 7,7% del total de municipios	Meta 102 30% del total de municipios

Nota. El proyecto Basura Cero se alinea con el eje 8 del PDES y sus metas, entre las que se propone pasar de 26 a 102 municipios con infraestructura en aprovechamiento, disposición final de residuos sólidos o cierre de botaderos (PDES, 2021).

Tabla 3. Residuos Sólidos en el Plan Sectorial

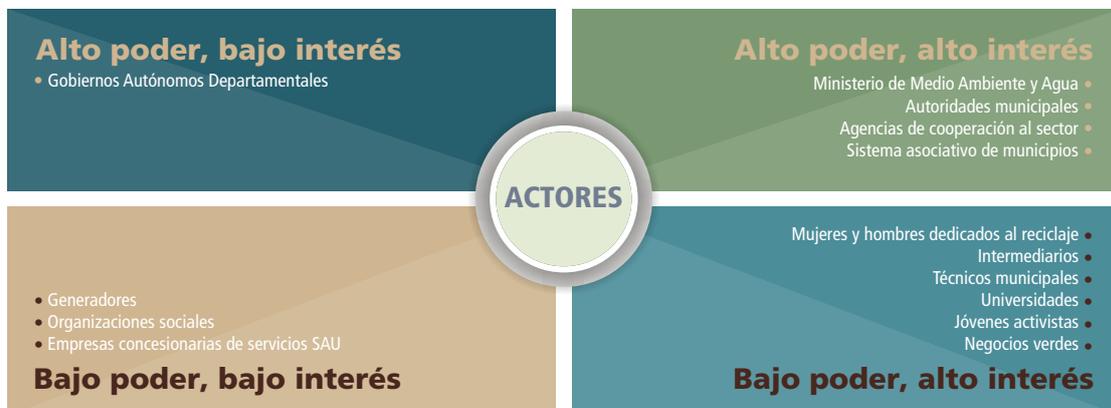
Plan Sectorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien 2021 - 2025 (Saneamiento Básico)
Sector Saneamiento Básico Subsector de Residuos Sólidos Políticas y Lineamientos Estratégicos Sector de Saneamiento Básico
Política 2. Gestión y promoción para la implementación de infraestructuras para aprovechamiento, disposición final e industrialización de los Residuos Sólidos y establecimiento del régimen de Responsabilidad de los residuos post consumo, en armonía con la Madre Tierra.
Lineamientos Estratégicos:
1) Desarrollo de conocimientos y gestión de información para fortalecer las capacidades en GIRS.
2) Promover la implementación del cierre técnico, saneamiento de botaderos y la implementación de la disposición final sanitaria y ambientalmente segura.
3) Promover la implementación del régimen de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y fomentar el aprovechamiento de residuos.
4) Desarrollo y actualización de los instrumentos normativos nacionales y de planificación para la implementación de la Gestión Integral de Residuos.

Nota. El Plan Sectorial de Desarrollo Integral para Vivir Bien en el sector Saneamiento Básico también se propone promover la implementación de infraestructuras para el aprovechamiento, disposición final e industrialización de residuos sólidos como política ; la cual va acompañada del desarrollo de conocimientos y fortalecimiento de capacidades además de la implementación del cierre técnico y saneamiento de botaderos. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2022)

1.5 Actores directos e indirectos

Con base a la problemática asociada a los botaderos a cielo abierto se han identificado a los actores que tienen relevancia al momento de implementar medidas de cierre y rehabilitación de botaderos. De acuerdo con la matriz de clasificación de actores, los gobiernos municipales, el Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz y el Ministerio de Medio Ambiente y Agua son aquellos que tienen alto poder y alto interés en el cierre y rehabilitación de botaderos, por lo que su involucramiento en el proceso ha sido fundamental (Figura 3). Por su parte, las Subgubernaciones, actores sociales y recicladoras de base tienen alto poder, pero bajo interés en el proceso, en este sentido se hicieron los esfuerzos para involucrar a estos sectores y visibilizar el beneficio del cierre y rehabilitación de los sitios en cada municipio.

Figura 3. Actores clave en el cierre de botaderos



Nota. Se puede apreciar en la Figura 3, la clasificación en cuatro categorías de actores de los distintos niveles (nacional hasta el local) y sectores (público y privado), en base al nivel de interés que tienen en el proceso de Cierre, para establecer las estrategias de relacionamiento con cada uno.

2. Situación inicial

Al ingresar a la zona, los municipios de Lagunillas, Boyuibe y Cuevo, tenían una cobertura promedio de servicio de aseo de 78% en las áreas urbanas, donde los residuos eran depositados en botaderos a cielo abierto con una acumulación importante. Dentro de los botaderos se hallaron mujeres y hombres que recuperaban los residuos inorgánicos reciclables para su comercialización, así como animales (cerdos, vacas y aves) que se alimentaban de los residuos orgánicos depositados.

Las poblaciones cercanas a estos vertederos expresaron su molestia por los malos olores que emitían los residuos y porque consideraban que los mismos podían afectar su salud, provocando infecciones, dolores de cabeza, vómitos, hongos en la piel, alergias, entre otros, según información obtenida mediante encuestas aplicadas en esas zonas.

A continuación, se muestra un detalle de la situación inicial en cada municipio.



2.1 Municipio de Lagunillas

El Municipio de Lagunillas es la primera sección municipal de la provincia Cordillera, se encuentra a 275 km del departamento de Santa Cruz y tiene una población total de 5.664 habitantes, de los cuales 1.529 viven en zona urbana.

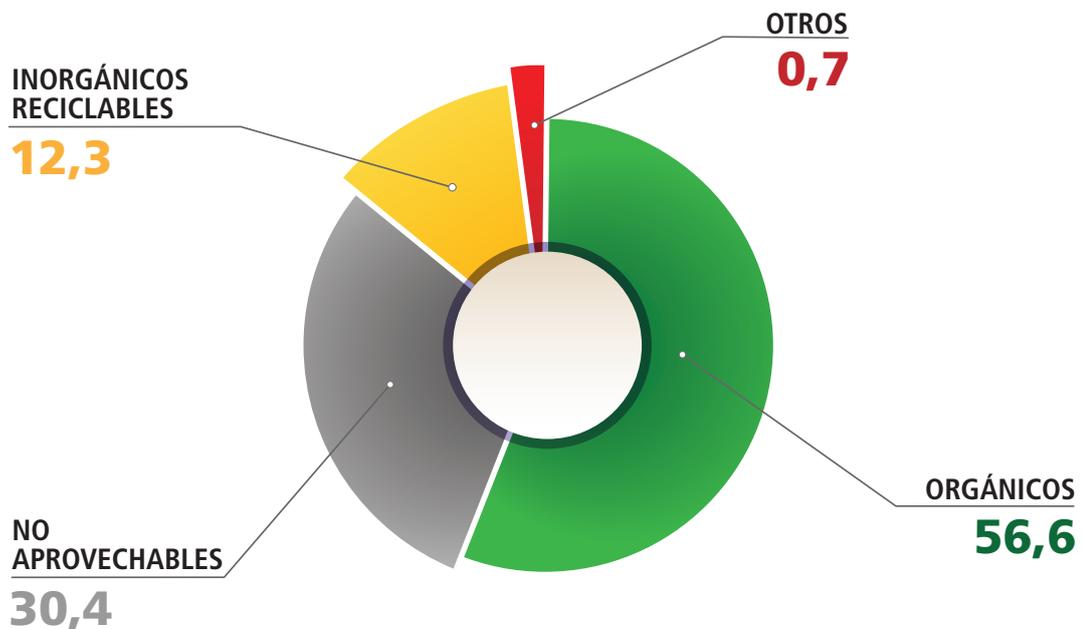
La gestión de residuos sólidos que comprende barrido y recolección, está a cargo del Gobierno Autónomo Municipal a través del Intendente Municipal, quien es el responsable operativo del servicio de aseo urbano, junto a un barrendero (jornalero), un chofer y dos recolectores.

Lagunillas no contaba con un servicio de disposición final y los residuos eran depositados en un botadero a cielo abierto.

La producción per cápita de residuos (PPC) municipal es de 0,565 kg/habitante/día. La generación total anual es 315,46 Tn/año y la generación diaria 0,86 Tn/día. Respecto a la composición (Figura 4), los residuos orgánicos corresponden al 56,6%, los residuos aprovechables (plásticos, vidrios, papel, cartón y metales) alcanzan el 12,3%, los residuos no aprovechables el 30,4% y el 0,7% corresponde a residuos especiales y peligrosos.

La disposición final se realizaba en el botadero municipal, que se encuentra a aproximadamente 1.09 km del centro poblado. Ocupa un área de una hectárea y opera desde el año 2019. Se ha estimado una acumulación de 941,16 toneladas de residuos hasta el momento del cierre y rehabilitación.

Figura 4. Composición y potencial aprovechable de residuos sólidos en el municipio de Lagunillas



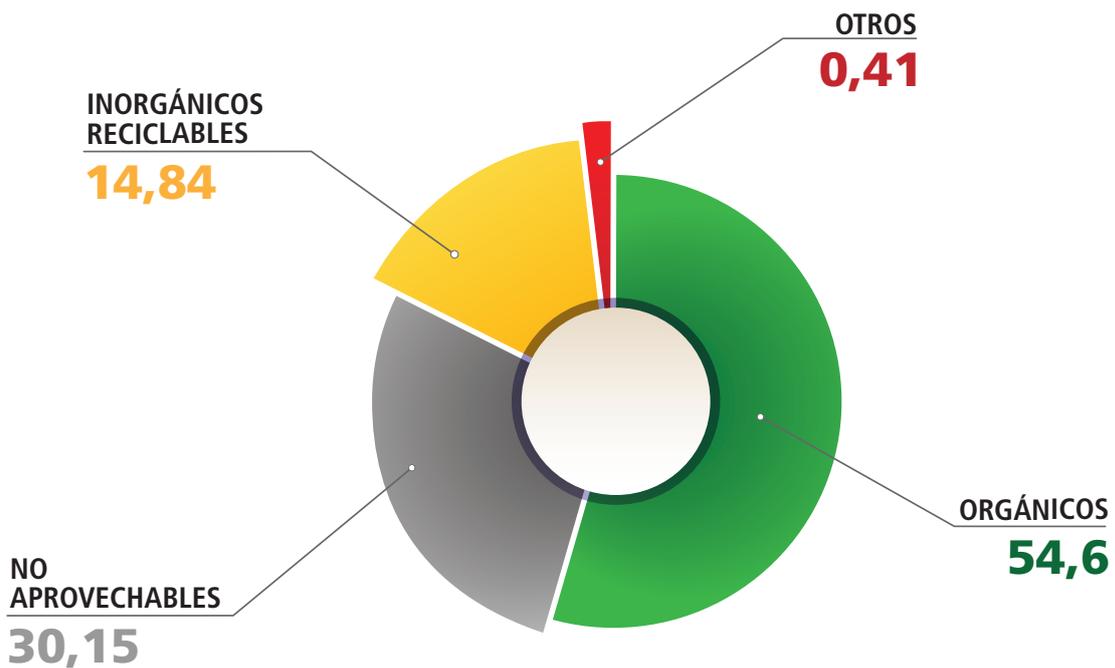


2.2 Municipio de Boyuibe

Corresponde a la séptima sección de la provincia Cordillera, se encuentra al sur del departamento de Santa Cruz, a 355 km (ruta Santa Cruz – Yacuiba). Tiene una población total de 6.154 habitantes, de los cuales 4.114 habitan en el área urbana.

La producción per cápita municipal calculada es de 0,482 kg/habitante/día, haciendo un total de 1.982,95 Tn/día y 723,78 Tn/año. Los residuos orgánicos son el 54,61%, los residuos inorgánicos aprovechables el 14,84%, los residuos especiales y peligrosos el 0,41% y los residuos no aprovechables el 30,15% (Figura 5).

Figura 5. Composición y potencial aprovechable de residuos sólidos en el municipio de Boyuibe



Respecto a la disposición final, el botadero municipal de Boyuibe se encuentra a 2,8 km del centro poblado. El botadero tiene una extensión de tres hectáreas y no cuenta con cerco perimetral. Se encuentra en operación desde el año 2010, acumulando 10.419,01 toneladas de residuos.



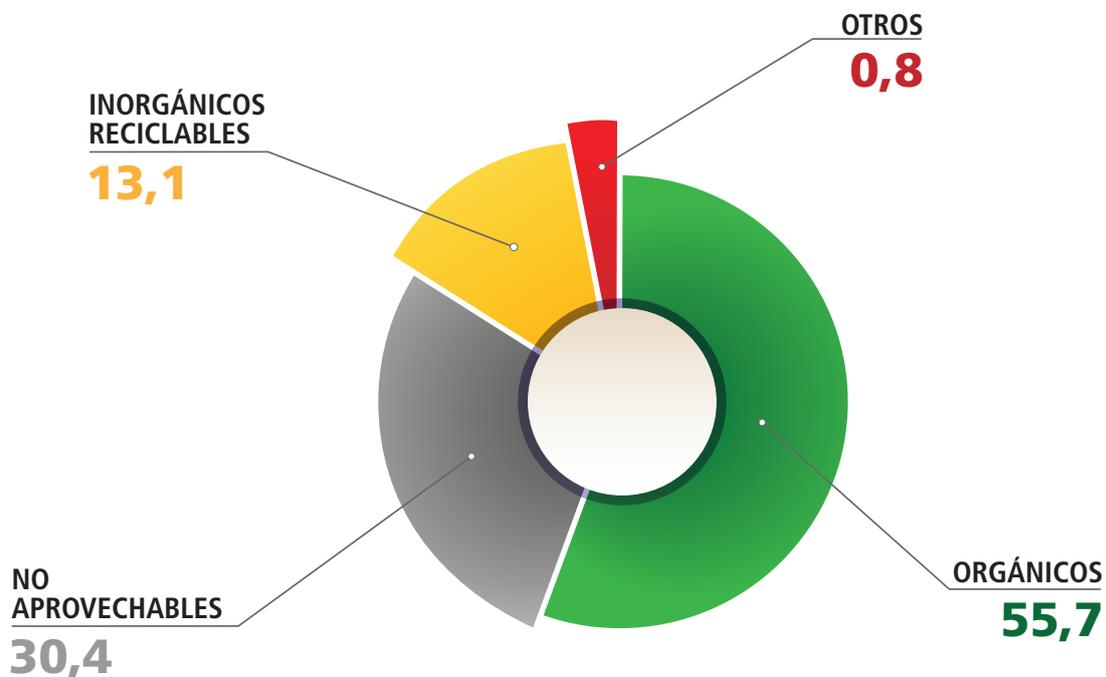
2.3 Municipio de Cuevo

Constituye la cuarta sección municipal de la provincia Cordillera, del departamento de Santa Cruz. Tiene una superficie de 1.082,5 km² y una población total de 5.358 habitantes, de los cuales 3.582 residen en el área urbana.

La producción municipal es de 0,5 kg/persona/día, haciendo un total de 1,79 Tn/día y 653,35 Tn/año. Respecto a la composición de los residuos sólidos (Figura 6), la fracción orgánica es predominante con el 55,7%, los residuos inorgánicos aprovechables alcanzan el 13,1%, los residuos no aprovechables corresponden al 30,4% y los residuos especiales y peligrosos son el 0,8%.

Para la disposición final se cuenta con un botadero a cielo abierto de una hectárea aproximadamente, ubicado a 1,2 km del centro poblado aproximadamente. El botadero municipal de Cuevo ha iniciado con la disposición de residuos en la gestión 2010, a la fecha tiene 11 años de funcionamiento acumulando 6.667,60 toneladas de residuos.

Figura 6. Composición y potencial aprovechable de residuos sólidos en el municipio de Cuevo





3. Descripción de la experiencia de cierre y rehabilitación de botaderos

El proceso de cierre y rehabilitación de botaderos ha seguido las fases planteadas en la planificación elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua en la gestión 2021 (Figura 7).

Figura 7. Etapas e intervenciones de cierre y rehabilitación de botaderos



Nota. Las etapas del ciclo de cierre y rehabilitación comprenden: diagnóstico histórico, identificación de alternativas para el cierre, elaboración e implementación de proyecto técnico, operación y control ambiental. De manera recurrente se socializa las actividades y obras con beneficiarios y otros actores.

3.1 Etapa 1: Diagnóstico

Todo proceso de cierre debe contar con una valoración y pasos preliminares que contemplen lo siguiente:

3.1.1 Determinación del derecho propietario

El perfeccionamiento del derecho propietario es uno de los pasos fundamentales para establecer un sitio de disposición final. Así, la titularidad de la propiedad del predio del botadero de Cuevo, fue consolidada de forma definitiva por el Gobierno Autónomo Municipal a través de la Resolución Administrativa N° 016/2019 del 12 de abril de 2019, acompañada del catastro municipal correspondiente.

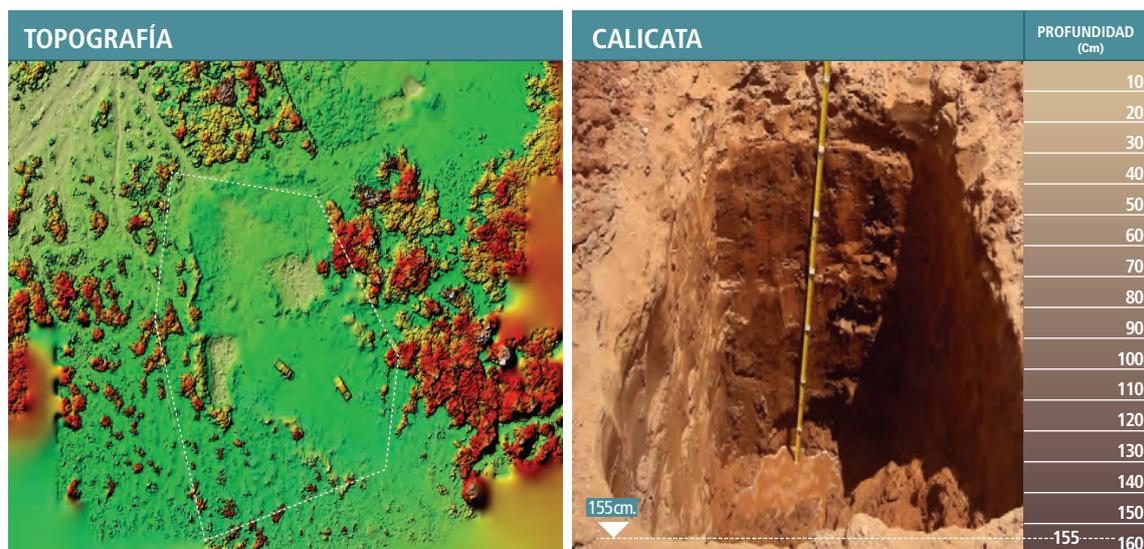
En el caso de Lagunillas, se cuenta con una Ley Municipal mediante la cual se faculta al Ejecutivo Municipal para la inscripción del bien municipal de dominio público a nombre del Gobierno Autónomo Municipal de Lagunillas.

Finalmente, el 29 de octubre de 2021, el Gobierno Autónomo Municipal de Boyuibe, promulgó la Ley N° 017/2021, mediante la cual se declara como bien municipal de dominio público al sitio de disposición final.

3.1.2 Estudios complementarios

Durante la etapa de diagnóstico se han realizado análisis adicionales para conocer la idoneidad de los sitios de rehabilitación destinados a relleno sanitario. En primera instancia se han realizado calicatas (excavaciones de prospección) y análisis topográficos y geológicos, obteniendo los siguientes resultados: el botadero de Lagunillas se encuentra en un predio que presenta un nivel freático a 1,55 m de la superficie (Figura 8). Con base en análisis topográficos, imágenes de satélite y geológicos de la zona, se evidencia que no existen fallas geológicas dentro el área del botadero de Lagunillas, es decir que la ubicación del botadero no está expuesta a riesgo geológico.

Figura 8. Topografía y calicata de Lagunillas



Nota. La figura de la izquierda muestra la topografía del predio. A la derecha se observa la calicata con el perfil de suelo. Se ha verificado que el nivel freático se encuentra a 1,55 m de la superficie. El botadero se encuentra ubicado en un área colindante a una zona de inundación temporal cercana a su límite noreste.

En el caso de Boyuibe, los análisis topográficos, imágenes de satélite y geológicos indican que no existen fallas geológicas en el área del botadero. Tras una exploración realizada en el predio se ha verificado que, hasta los 3,3 m de la superficie a la base de la quebrada, no se encuentra el nivel freático del lugar (Figura 9).

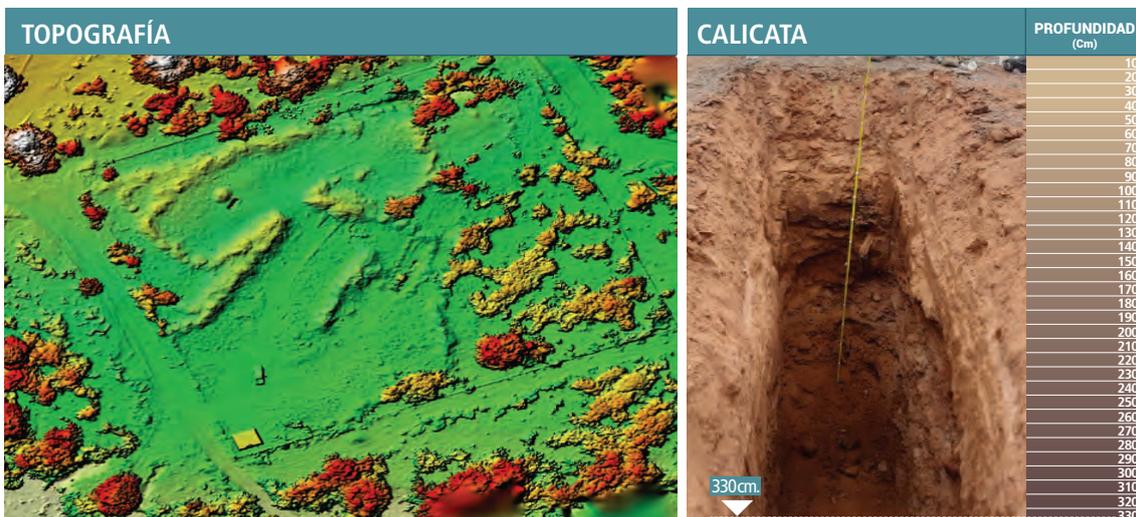
Figura 9. Topografía y calicata de Boyuibe



Nota. La figura de la izquierda muestra la topografía del predio. A la derecha se observa la calicata con el perfil de suelo. No se ha encontrado nivel freático hasta los 3,3 m de profundidad. Con base en análisis topográficos, imágenes de satélite y geológicos de la zona, se determina que no existen fallas geológicas dentro el área del botadero de Boyuibe.

En el municipio de Cuevo, en base al levantamiento topográfico realizado en la gestión 2020, se determinó que el área ocupada por el botadero alcanza 0,97 hectáreas, y que el nivel freático se encuentra a más de 3,3 m de profundidad. Con base en análisis topográficos, imágenes de satélite y geológicos de la zona se ha evidenciado que no existen fallas geológicas dentro el área del botadero (Figura 10).

Figura 10. Topografía y calicata de Cuevo



Nota. La figura de la izquierda muestra la topografía del predio. A la derecha se observa la calicata con el perfil de suelo. No se ha encontrado nivel freático hasta los 3,3 m de profundidad. La topografía muestra que no se presentan áreas de inundación cercanas. Con base en análisis topográficos, imágenes de satélite y geológicos de la zona se estableció que no existen fallas geológicas dentro el área del botadero de Cuevo.

Análisis de factores y parámetros para la identificación de sitios de disposición final

Habiendo aplicado el análisis de factores y parámetros de la Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, se ha identificado que los tres botaderos a ser rehabilitados se encuentran ubicados en un terreno aceptable y cumplen con los criterios para su rehabilitación. Sin embargo, dadas las condiciones específicas y particulares de cada uno de los sitios de disposición final se deben precisar las acciones realizadas por separado. Por otro lado, en cumplimiento a lo dispuesto en la Guía de Cierre Técnico de Botaderos vigente, se ha realizado la evaluación de impactos ambientales a cada uno de los botaderos obteniendo los siguientes resultados:

En función a la ponderación de impactos obtenida para el botadero de Lagunillas (Tabla 4), el valor ponderado es de 137, se encuentra dentro del rango de 0 a 150, y se considera como un botadero de bajo riesgo, con posibilidad de rehabilitación

Tabla 4. Ponderación de impactos. Rehabilitación del botadero de Lagunillas

Evaluación de impactos ambientales	Ponderación del Impacto
Impacto al suelo	23
Impacto al aire	19
Impacto al agua	15
Impacto a la flora y fauna	22
Impacto al patrimonio natural y cultural	8
Riesgo	24
Impacto socioeconómicos y salud	26
Valoración total	137

Nota. La tabla refleja la ponderación del impacto del botadero para determinar el nivel de riesgo y la posibilidad de rehabilitación, el Botadero de Lagunillas obtiene una ponderación de 137 (bajo riesgo).

En cuanto a la ponderación de impactos obtenida para el botadero de Boyuibe (Tabla 5), se obtuvo un valor ponderado de 184, situándolo dentro del rango de 150 a 200. Se considera un botadero de moderado riesgo, con posibilidad de rehabilitación siempre y cuando el sitio cumpla con los requisitos de la norma para ubicación de rellenos.

Tabla 5. Ponderación de impactos. Rehabilitación del botadero de Boyuibe

Evaluación de impactos ambientales	Ponderación del Impacto
Impacto al suelo	38
Impacto al aire	40
Impacto al agua	15
Impacto a la flora y fauna	31
Impacto al patrimonio natural y cultural	8
Riesgo	19
Impacto socioeconómicos y salud	33
Valoración total	184

Nota. La tabla refleja la ponderación del impacto del botadero para determinar el riesgo y la posibilidad de su rehabilitación. El botadero de Boyuibe obtiene una ponderación total de 184 (moderado riesgo).

Finalmente, la ponderación de impactos obtenida para el botadero de Cuevo (Tabla 6), alcanzó un valor ponderado de 137, se encuentra dentro del rango de 0 a 150, y se considera como un botadero de bajo riesgo, con posibilidad de rehabilitación.

Tabla 6. Ponderación de impactos. Rehabilitación del botadero de Cuevo.

Evaluación de impactos ambientales	Ponderación del Impacto
Impacto al suelo	23
Impacto al aire	19
Impacto al agua	15
Impacto a la flora y fauna	22
Impacto al patrimonio natural y cultural	8
Riesgo	24
Impacto socioeconómicos y salud	26
Valoración total	137

Nota. La tabla refleja la ponderación del impacto del botadero para determinar el riesgo y la posibilidad de su rehabilitación. El botadero de Cuevo obtiene una ponderación total de 137 (bajo riesgo).

Considerando los resultados de la evaluación técnica ambiental, establecida en la metodología de cierre de botaderos, se determina que el sitio de disposición final de Cuevo y Lagunillas son botaderos de bajo riesgo y en el caso de Boyuibe de riesgo moderado. En este sentido, los tres casos tienen posibilidad de rehabilitación siempre y cuando el sitio cumpla con los requisitos de la norma para ubicación de rellenos.

Voluntad política

Otro criterio imprescindible al momento de rehabilitar un botadero recae en la voluntad política. En el caso del Chaco Cruceño, el apoyo del Ejecutivo y Legislativo Municipal fue importante para la consolidación legal de los predios, el seguimiento técnico a las acciones y la contraparte financiera y en especie que fue monetizada para estas tareas. Una vez concluido el proceso de cierre y rehabilitación, las autoridades municipales designaron personal para la operación de los sitios rehabilitados, materializando el compromiso con la gestión de residuos.

“Un municipio turístico no puede serlo sin manejar bien sus aguas servidas y su basura, gracias al proyecto Basura Cero Cuevo tiene una ciudad limpia y es un ejemplo en la región”.

Marcelo Villagra, Alcalde de Cuevo



M2

M3

M1

M4

M5

3.2 Etapas 2 y 3: Proyecto técnico y su implementación

Las actividades relacionadas con el diseño del proyecto técnico y su implementación son las siguientes:

3.2.1 Difusión del cierre técnico del botadero

La difusión de la propuesta técnica a implementarse inició en la gestión 2020, incluyendo a todos los actores de la gestión de residuos en los tres municipios. Se emplearon medios de comunicación e información tradicionales de cada lugar (ej. radio, prensa escrita, etc.) y se reforzó la estrategia con voluntarios ambientales locales. Estos últimos fueron clave en la difusión del cierre de los botaderos y en brindar información a la población sobre las características de la alternativa técnica, logrando la respuesta favorable y el compromiso de los generadores individuales.

3.2.2 Procedimiento de cierre técnico

Para rehabilitar los botaderos de los municipios de Boyuibe, Cuevo y Lagunillas, se plantearon las siguientes medidas técnicas necesarias que permitan su transformación en un relleno sanitario modelo, aplicando los lineamientos establecidos en la Planificación Nacional para el Cierre de Botaderos y la normativa vigente.

Cada uno de los proyectos de rehabilitación de botaderos contempla la implementación de los módulos referenciales de la Figura 11.

Figura 11. Módulos referenciales (ver referencia en la fotografía a la izquierda)

M1:	Macrocelda de cierre técnico
M2:	Macrocelda de operación como Relleno Sanitario
M3:	Geotanque de Lixiviados y manejo del biogás
M4:	Vías de acceso, seguridad y obras de arte
M5:	Cerco perimetral y portón

Nota. Los módulos se componen de dos macroceldas, la primera destinada al cierre técnico y la segunda a la operación bajo el sistema relleno sanitario, acompañadas de un geotanque para lixiviados y manejo de biogás, además de cerco perimetral, portón y las vías de acceso, seguridad y circulación.

En resumen, para el cierre técnico se requiere una celda que debe ser dimensionada en función a la cantidad de residuos acumulados. La celda de cierre del municipio de Lagunillas es de 23x15 m, en el caso de Boyuibe es de 20,5x65 m y en Cuevo las dimensiones son de 42x55 m.

La rehabilitación demanda la habilitación de otra celda destinada a la operación, cuyas dimensiones deben calcularse en base a la generación y potencial de vida útil del sitio.

Por otro lado, es importante implementar el cerco perimetral, portón y las vías de acceso para precautelar la seguridad del recinto y el acceso a los diferentes módulos.

Finalmente, como parte de la correcta operación de un relleno sanitario y un cierre técnico de botaderos se deben controlar los subproductos (lixiviados y biogás) que se generan por la descomposición de los residuos.

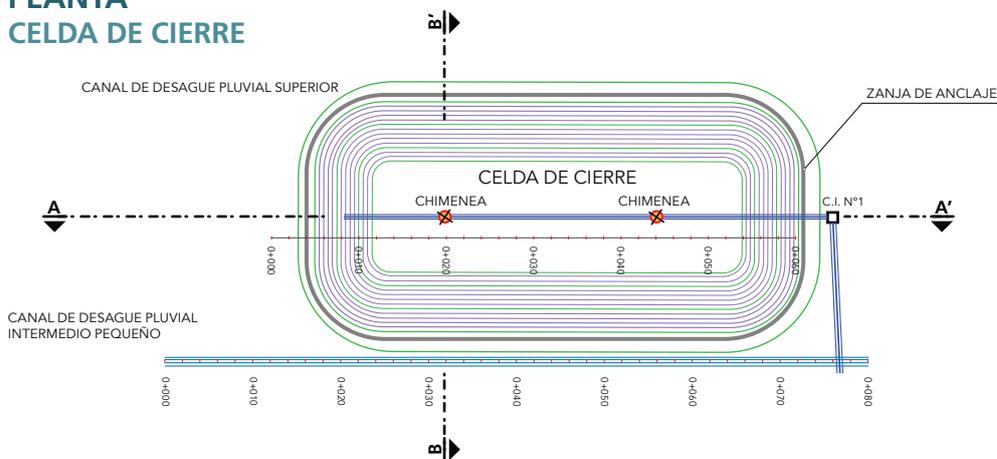
M1: Macrocelda de cierre técnico

La ejecución de obras de cierre inició con la excavación y traslado de residuos dispersos. Durante este proceso se identificó una cantidad importante de botellas PET (polietileno tereftalato), por lo que el Gobierno Autónomo Municipal de Cuevo organizó una campaña de recuperación de plásticos, obteniendo alrededor de seis toneladas, reduciendo en cantidad y volumen los residuos a ser confinados en la macrocelda de cierre técnico.

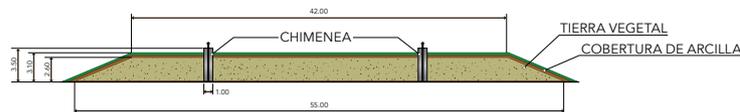
Al momento de configurar la macrocelda de cierre técnico de los residuos que están acumulados en el botadero se debe seleccionar un espacio destinado al confinamiento de residuos y posteriormente realizar el traslado de los residuos dispersos al área seleccionada. Adicionalmente, para habilitar un solo espacio de confinamiento de residuos sólidos se debe retirar los residuos que existiesen e impermeabilizar el fondo con geo sintéticos; para el caso de los botaderos rehabilitados se aplicó un sistema de impermeabilización con arcilla (Figura 12).

Figura 12. Macrocelda de cierre de Cuevo

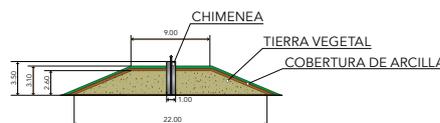
PLANTA CELDA DE CIERRE



SECCIÓN A-A'



SECCIÓN B-B'



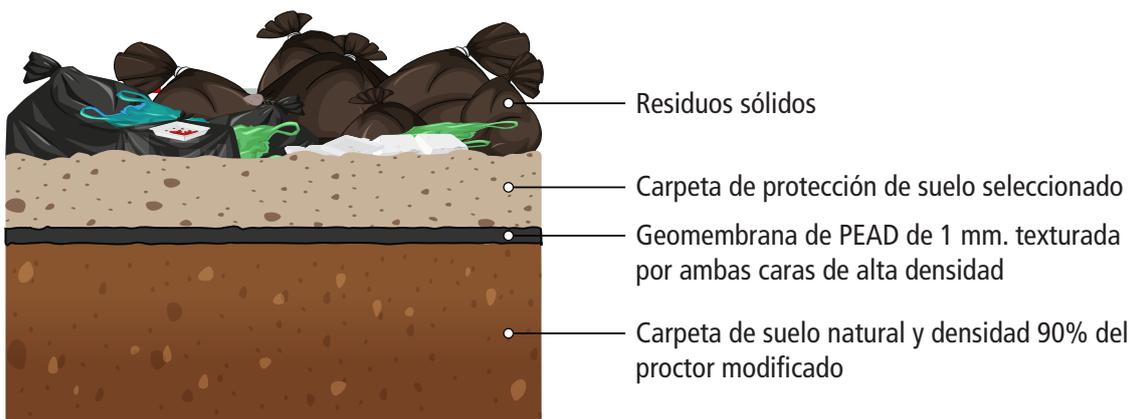
Fuente: Plan de cierre y rehabilitación municipio de Cuevo (2021).
Nota. Vista en planta, secciones y ubicación de chimeneas.



Celda de cierre de Cuevo

El procedimiento de impermeabilización consiste en la superposición de distintos materiales que van a generar este efecto (Figura 13).

Figura 13. Esquema de impermeabilización aplicado en la celda de cierre



Nota. Corte lateral de impermeabilización de celda de cierre, donde se pueden apreciar las capas de materiales empleadas: suelo natural compactado, geomembrana, carpeta de protección y residuos encima.

A través del acomodado y localización de los residuos en un solo punto se pueden habilitar áreas donde realizar otras intervenciones.

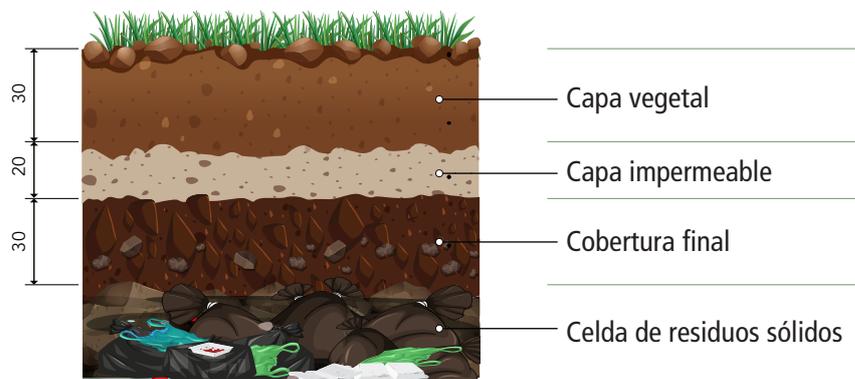
Asimismo, la tierra liberada, donde los residuos estaban dispersos, puede ser reutilizada y empleada en la celda de cierre del botadero, realizando la limpieza correspondiente de las zonas anteriormente afectadas.

Un aspecto importante a considerar es que la celda de confinamiento de los residuos cuenta con un sistema de cobertura final conformado por una cobertura terrea de 30 cm, una capa impermeable de 20 cm y una carpeta vegetal de 30 cm. Este sistema de cobertura final (Figura 14) permite garantizar el aislamiento de los residuos confinados en la celda de cierre.



Celda de cierre Lagunillas

Figura 14. Sistema de cobertura final en la macrocelda de cierre



Nota. Capas de cobertura de la macrocelda de cierre, compuesta por cobertura final térrea, capa impermeable y capa vegetal.

Cada una de las celdas de cierre contempla también un sistema de drenaje de lixiviados y captadores de quema pasiva de biogás para el correcto manejo de los subproductos que se generan durante la descomposición anaerobia de los residuos hasta su estabilización.

Finalmente, después del cierre se implementó un plan de forestación del predio que incluye:

- **Forestación en taludes:** para aminorar los efectos erosivos de la lluvia.
- **Forestación perimetral:** para cumplir la NB 760, respecto al área de amortiguamiento y barrera rompivientos.
- **Forestación en bordes talud-banquina:** para mejorar la estabilidad de la orilla de la banquina.
- **Forestación en la superficie:** para reducir los efectos de la lluvia como la erosión por escorrentía.

La forestación sobre las celdas se realizó con especies superficiales con poco desarrollo radicular y adaptadas a las condiciones climáticas del lugar.

M2: Macrocelda de operación como relleno sanitario

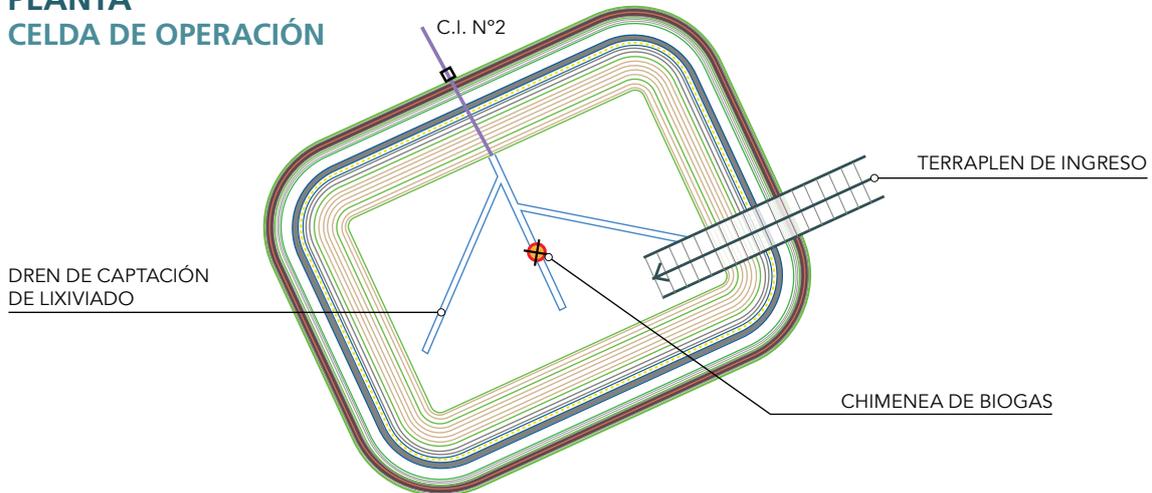
Respecto a la habilitación de la celda de relleno sanitario se emplearon dos métodos (trinchera y área) para optimizar el terreno disponible en cada uno de los sitios.

La capacidad volumétrica de la celda de Lagunillas (Figura 15) durante la operación en el método trinchera es de 1.516,66 m³; por otro lado, de acuerdo con el diseño, la capacidad volumétrica de la disposición de residuos en el método área es de 1.400,00 m³. Considerando ambos volúmenes de trabajo denominado como método combinado, la capacidad volumétrica total de la celda de operación del relleno es de 2916,66 m³. Las dimensiones de la celda son 27x37 m.

Figura 15. Planimetría de la celda de operación del relleno sanitario de Lagunillas

PLANTA

CELDA DE OPERACIÓN



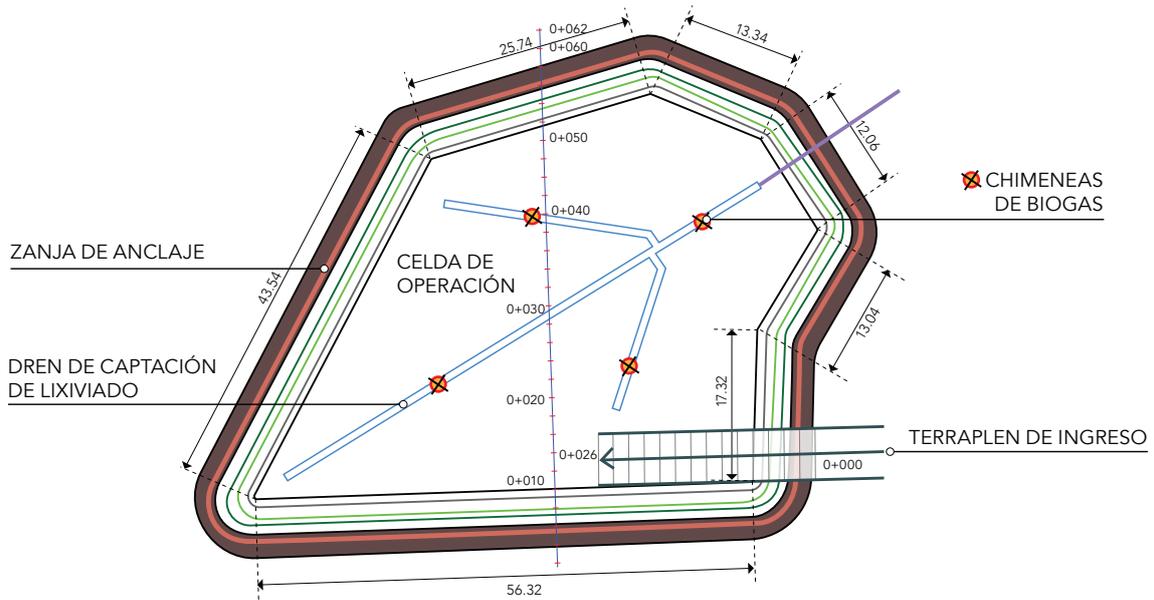
Nota. Fotografía y plano de la celda de operación del relleno sanitario en Lagunillas donde se aprecian los mecanismos de colección de lixiviados y terraplenes.



En el caso de Boyuibe la capacidad volumétrica de la celda durante la operación en el método trinchera es de 4.693 m³ y en el método área es de 5.304,6 m³, alcanzando una capacidad volumétrica total de 9.997,6 m³. Para este volumen, el perímetro de la celda es de 264,68 m. Esta celda tiene una superficie irregular (Figura 16) debido a las condiciones del terreno.

Figura 16. Planimetría de la celda de operación del relleno sanitario de Boyuibe

PLANTA CELDA DE OPERACIÓN



Nota. Plano de vista superior y fotografía lateral de la celda de operación en Boyuibe, se aprecian vías de acceso, colectores de lixiviados, zanjas y chimeneas.



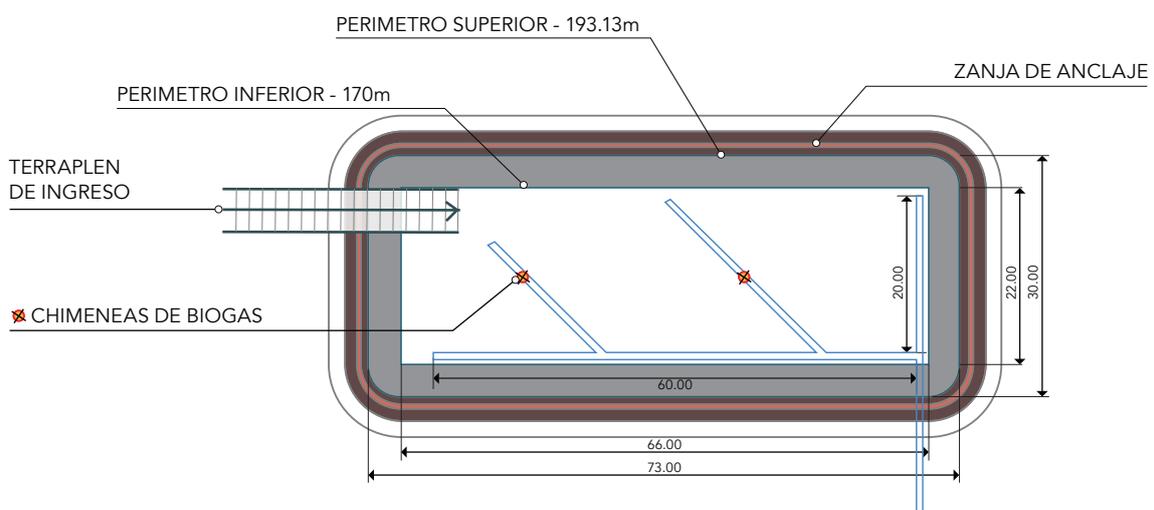


Celda de operación de Cuevo

Finalmente, en Cuevo, la capacidad volumétrica de la celda (Figura 17) durante la operación en el método trinchera es de 3.593,1 m³ y en el método área es de 3.385,8 m³, acumulando una capacidad volumétrica total de 6.978,9 m³. La dimensión de la celda de operación es de 30x73 m.

Figura 17. Planimetría de la celda de operación del relleno sanitario de Cuevo

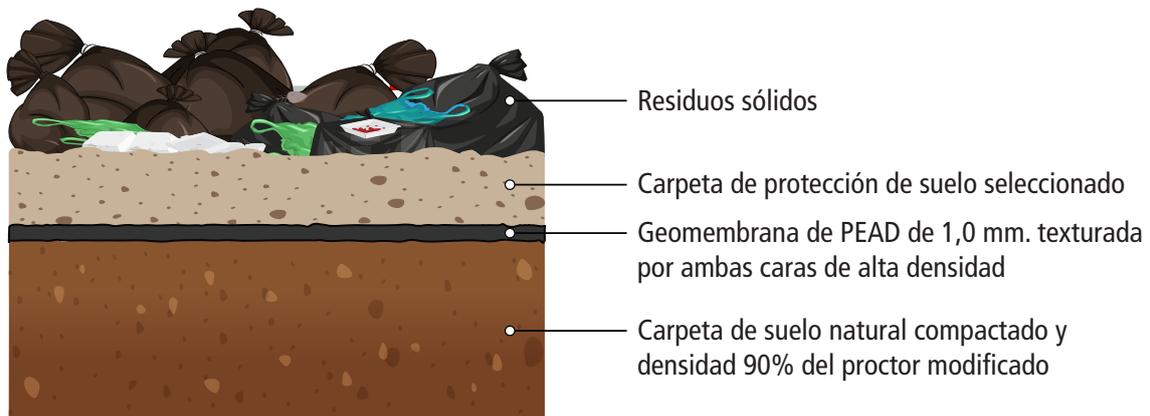
PLANTA CELDA DE OPERACIÓN



Nota. Plano de vista superior y fotografía lateral de la celda de operación del relleno sanitario en Cuevo. Destacan: zanjas, chimeneas y colectores de lixiviados.

Es importante mencionar que la celda de operación como relleno sanitario, siguiendo el procedimiento establecido en la Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios, aplica un esquema de impermeabilización como el de la Figura 18.

Figura 18. Esquema de impermeabilización aplicado en la celda de operación.



Nota. Capas de cobertura de la macrocelda de operación, compuesta por carpeta de suelo natural compactado, capa impermeable de geomembrana y carpeta de protección de suelo para recibir los residuos.

Inicialmente, la vida útil calculada para los rellenos sanitarios ha sido de cinco años en función a la disponibilidad de espacio en la celda construida. Sin embargo, debido al incremento en el aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, la vida útil se ha ampliado a diez años en los tres municipios.



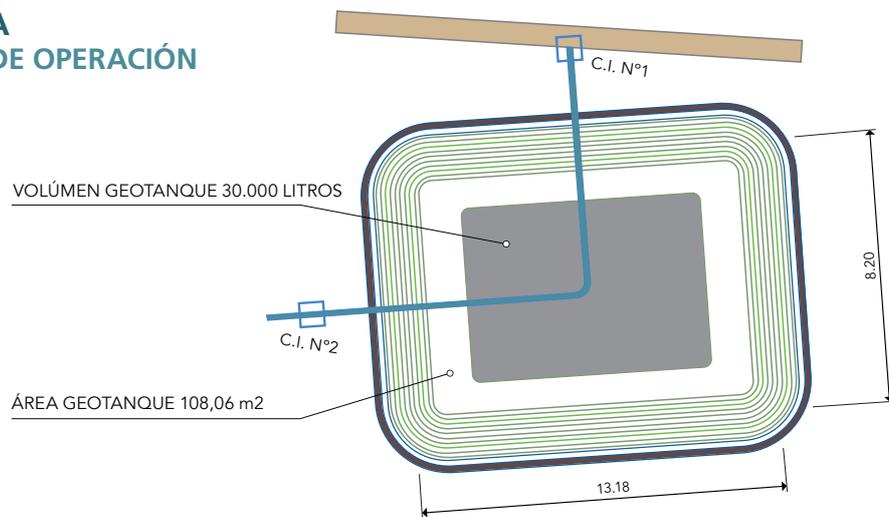
M3: Geotanque de lixiviados y manejo de biogás

Uno de los aspectos más importantes al momento de operar adecuadamente un sitio de disposición final de residuos está relacionado con el control de los subproductos que se van a generar por la degradación propia de los desechos, tales como: lixiviados y biogás. Se han implementado sistemas de drenaje, captación y almacenamiento de lixiviados (Figura 19) que conducen estos líquidos a una unidad de almacenamiento denominada geotanque para su posterior tratamiento mediante la recirculación y evaporación natural. Es importante mencionar que se ha optado por sistemas cerrados de almacenamiento (geotanques) para minimizar el impacto por olores.

Figura 19. Esquema de geotanque y drenajes

PLANTA

CELDA DE OPERACIÓN



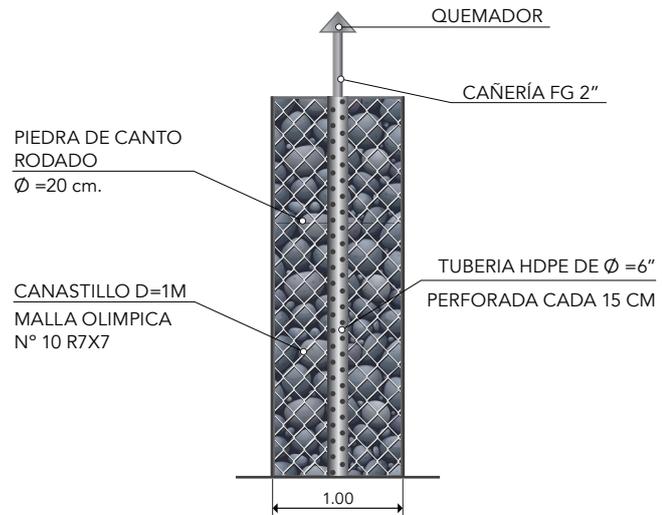
Nota. Vista superior del plano de geotanque donde destacan: área, capacidad y drenajes.



Respecto al biogás, se implementaron captadores pasivos (Figura 20) tanto en la celda de cierre como en la celda de operación del relleno sanitario para centralizar el flujo de gases que se generan por la descomposición de los residuos.

Es importante mencionar que estos sistemas de captadores de biogás si bien son considerados pasivos pueden ser utilizados para la quema de gases.

Figura 20. Esquema del captador de biogás



Nota. Vista lateral de una chimenea o captador de biogás, donde se observan dimensiones, material y otros detalles.

M4 y M5: Vías de acceso, seguridad, obras de arte, cerco perimetral y portón

Por último, la ejecución de las acciones complementarias que garantizan la seguridad y el cuidado de las instalaciones comprende la señalización, el cercamiento, el establecimiento de vías, entre otras necesarias para el amortiguamiento (Figura 21).

Figura 21. Cerco y drenaje pluvial de Cuevo

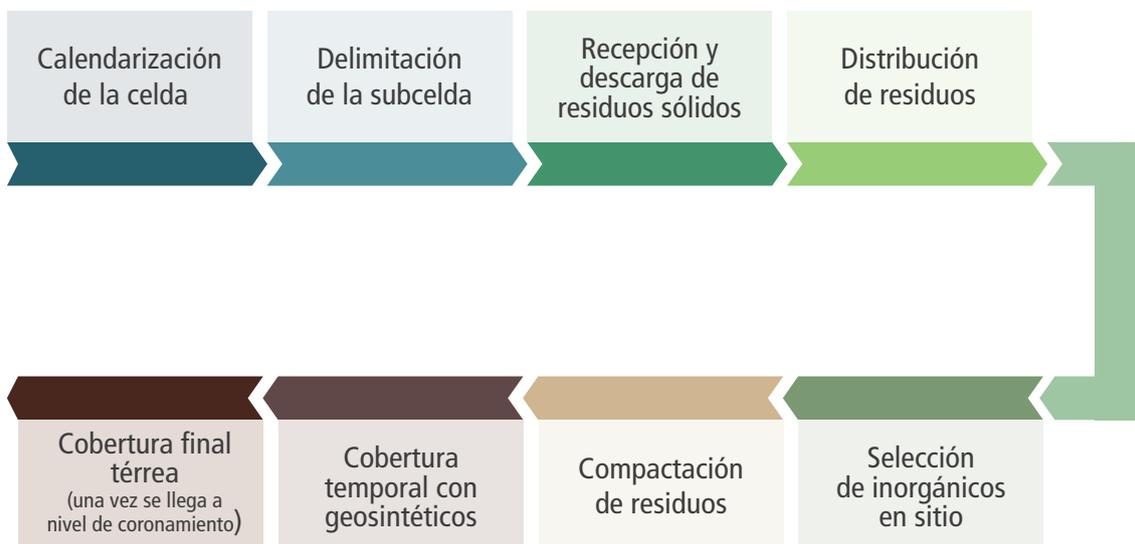
Señalización	Vías de acceso internas y externas	Área de amortiguamiento
Cerco perimetral	Área de depósito	
Portón de acceso	Drenajes pluviales	



3.3 Etapa 4: Operación y mantenimiento de los botaderos rehabilitados

Dando continuidad al cierre y/o rehabilitación de botaderos, se inició la operación de la nueva celda, para lo que se programaron capacitaciones y el acompañamiento a la operación en los tres municipios. Comenzó con la designación de personal municipal para el manejo de estos sitios, actividad a cargo de los gobiernos municipales de Lagunillas, Cuevo y Boyuibe. El personal designado fue capacitado en los sitios de disposición final y se promovió un intercambio de experiencias en el municipio de Villazón. Con esta preparación el personal adquirió las destrezas para la administración de los rellenos sanitarios y se apropió del método. La disposición final sigue el proceso descrito en la Figura 22.

Figura 22. Proceso de disposición final

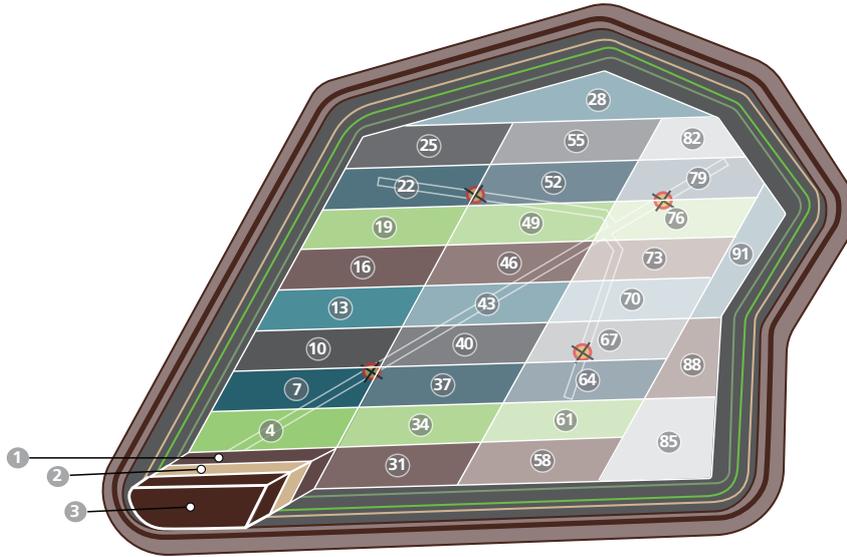


Nota. La disposición final consta de ocho pasos consecutivos que inician en la calendarización de la celda y la delimitación de la subcelda para el depósito y distribución de residuos. En ese momento se seleccionan los residuos inorgánicos, se compactan, se realiza una cobertura temporal hasta que se llegue al nivel de coronamiento para aplicar la cobertura final.

3.3.1 Calendarización de la celda

Un criterio indispensable para el inicio de operaciones de un relleno sanitario consiste en la planificación y fijación anticipada de fechas (calendarización) para el uso de las celdas temporales (subceldas) o celdas definitivas (Figura 23), las cuales deben asegurar una disposición y operación adecuada, ordenada y que siga una secuencia hasta consolidar su cierre. El procedimiento para realizar esta planificación es el predimensionamiento de las celdas en función a la cantidad de residuos generados. En el caso de los municipios de referencia, se han planificado subceldas (celdas más pequeñas) para una operación mensual o bimensual, estas han sido esquematizadas y ubicadas a partir de la cota más elevada.

Figura 23. Calendarización de la celda



Nota. La figura muestra el diagrama de calendarización de las subceldas del botadero de Boyuibe. Se inicia la disposición final de la subcelda 1 hasta llegar al nivel de coronamiento donde se aplica el material de cobertura terrea.

3.3.2 Delimitación de la subcelda

Al inicio de uso de cada subcelda se debe realizar un replanteo y delimitación en campo, de acuerdo con la calendarización, de esta forma se identifica el área de trabajo por el periodo de tiempo previsto; se recomienda una vida útil de al menos dos meses por subcelda. Por ejemplo, la dimensión de la subcelda de Cuevo es de 90 m², espacio suficiente para albergar los residuos de dos meses de generación.



3.3.3 Recepción y descarga de residuos

La recepción consiste en registrar el número de vehículos y el volumen de residuos transportados al momento de ingresar al relleno sanitario. Una vez concluido el registro se realiza la descarga (Figura 25) dentro de la subcelda delimitada. Esta actividad debe ser controlada en todo momento por el operador del relleno sanitario para garantizar que los residuos solamente se dispongan en la subcelda.

Figura 24. Descarga de residuos y planilla de registro en el municipio de Lagunillas

		PLANILLA DE CONTROL DE DISPOSICIÓN Y OPERACIÓN SEMANAL MUNICIPIO DE LAGUNILLAS											
NOMBRE DEL RESPONSABLE		ABEL PEÑA CALLAU											
NOMBRE DEL ASESOR		ING. ESP. REIDER H. CARI RUIZ											
NRO	DESCRIPCIÓN DE REGISTRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Fecha	6/16/22	7/7/22	7/14/22	7/28/22	8/4/22	8/18/22	9/1/22	9/14/22	9/22/22	10/6/22	10/13/22	
2	Altura de basura en camión Dim. 6.20x2.10m												
3	Nro de camiones por frecuencia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
4	Nro de personas para operación	6	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	
5	Tiempo de operación (hr) distrib/compac/cobertura	0.5/0.5/0.5	1/1/1	0.50/1/0.25	0.75/0.5/0.25	0.5/0.5/0.25	0.75/0.5/0.25	0.5/0.5/0.25	0.5/0.5/0.25	0.75/0.5/0.25	0.75/0.5/0.25	0.75/0.5/0.25	
6	Generación residuos (ton/día)	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	
7	Frente de trabajo (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
8	Largo de sub celda (m)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
9	Altura antes de compactación (m)	0.27	0.34	0.45	0.60	0.63	0.85	1.04	1.52	1.84	1.70	1.78	
10	Altura desp de compactación (m)	0.20	0.25	0.30	0.42	0.47	0.62	0.78	1.12	1.54	1.59	1.65	
11	Altura total celda (m)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
12	Talud	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	
13	Volumen de compactación (m3)	5.67	1.19	1.54	3.27	1.59	4.11	4.48	9.52	11.76	1.26	1.82	
14	Volumen de ingreso (m3)	7.56	1.848	3.192	4.2	0.84	6.16	5.32	13.3	8.96	3.78	2.1	
15	Reducción de compactación (%)	0.25	0.36	0.52	0.22	-0.89	0.33	0.16	0.28	-0.31	0.67	0.13	
15	Volumen de material de cobertura esp. 0.1m (m3)	2.8	2.8	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	agrofilm	



Camión recolector y personal operador depositando los residuos en la subcelda



Depósito de desechos dentro del área delimitada al interior de la subcelda para su dispersión posterior.

3.3.4 Distribución de residuos

La distribución de residuos sólidos se refiere a la dispersión del material de modo que tenga una altura uniforme o pareja en la subcelda (ver fotografía de arriba), respetando el ancho y largo de la misma para tener una mejor compactación. Asimismo, se debe considerar la forma y el talud con la inclinación adecuada de 1:3 al momento de subir niveles, esta metodología permite aprovechar al máximo el volumen de cada subcelda y reducir el área de residuos disgregados dentro de la celda de residuos.

3.3.5 Selección de residuos inorgánicos en sitio

Al momento de realizar la distribución de los residuos en la subcelda quedan al descubierto los residuos inorgánicos: botellas PET, latas de aluminio, botellas de vidrio y cartones, entre otros, en ese momento se procede a su separación a un costado de la celda (Figura 27) para que posteriormente el camión de recolección los traslade al punto de acopio de residuos inorgánicos reciclables del municipio. Esta tarea se realiza paralelamente a la distribución.



Selección de residuos inorgánicos en Cuevo.

3.3.6 Compactación de residuos

Una vez verificado el emparejamiento de los residuos y retirados los materiales inorgánicos para su aprovechamiento, se realiza la reducción del volumen mediante una compactadora mecánico manual de fácil manipulación, con un rendimiento considerablemente mejor al rodillo manual recomendado en la literatura (Figura 28).

Esta es una tarea esencial al momento de operar un sitio de disposición final de residuos, ya que una correcta compactación permite eliminar vacíos y ampliar la vida útil de las celdas de descarga de residuos. La altura de compactación está definida en función a las características de compactación del equipo empleado.

De acuerdo con la operación en cada sitio se realizan tres a cuatro pasadas, en función a la presencia de hundimiento de la masa de residuos pueden aplicarse más pasadas para mayor densificación. Con el uso de la compactadora se alcanzaron valores de 0,35 a 0,40 Tn/m³, valor mucho mayor al teórico que se define en la operación de rellenos sanitarios manuales (0,20 Tn/m³).

Un aspecto clave a considerar es el cuidado del crecimiento y la forma que adopta la masa de residuos. Se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- **Peinado de taludes:** consiste en el colocado de la capa de sellado y perfilado en los taludes.
- **Altura:** forma y altura del cuerpo de las banquetas conformadas, para evitar asentamientos o corregirlos oportunamente.
- **Inclinación:** se optimiza la inclinación del talud permanentemente para evitar la desestabilización del talud, manejando como máximo 10%.



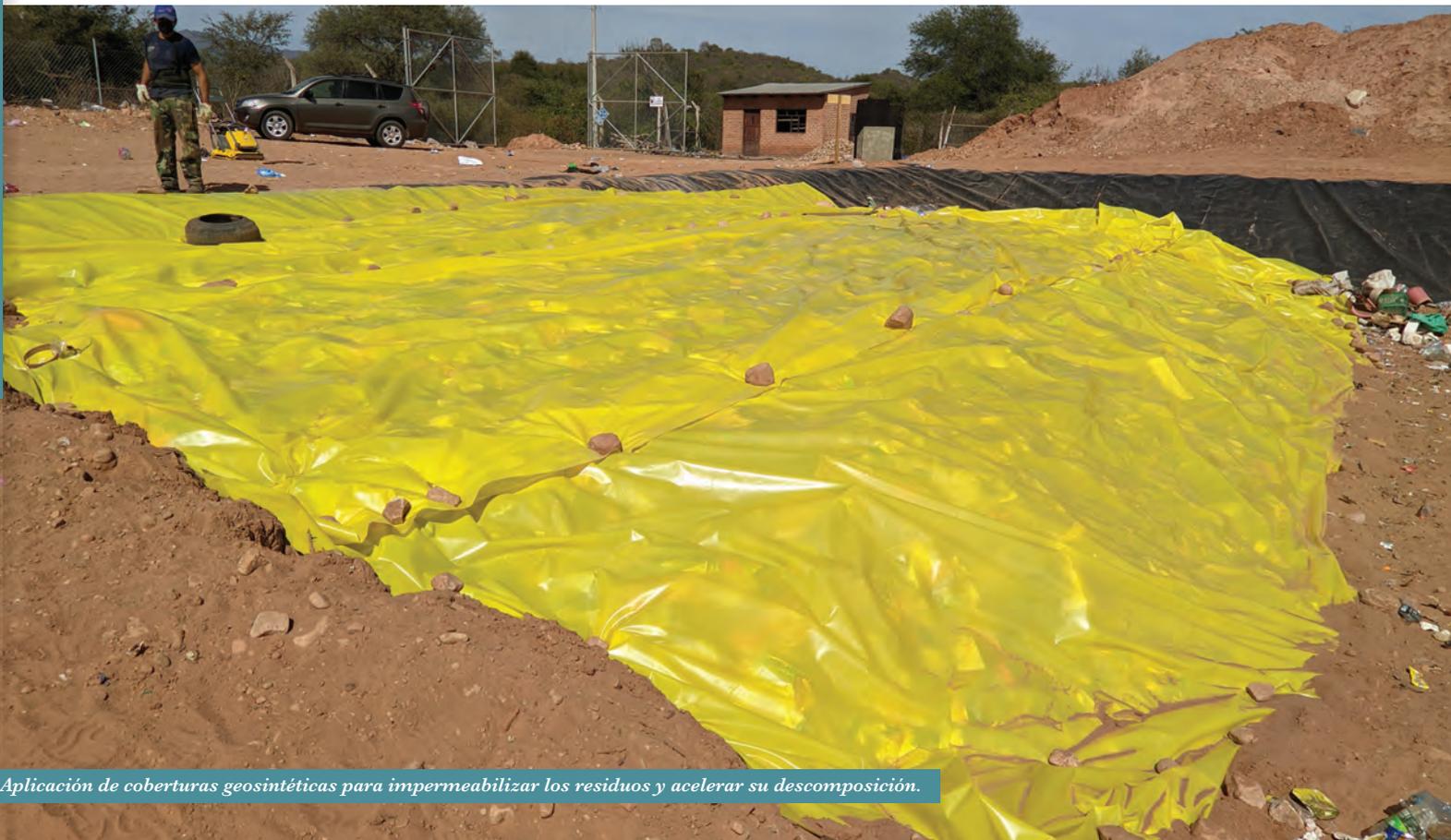
Compactación de residuos en la celda de Cuevo

3.3.7 Cobertura temporal de residuos con geosintéticos

Uno de los aspectos que influyen directamente en la vida útil de los rellenos sanitarios es la cantidad de material de cobertura colocado en su operación. Considerando que se debe optimizar espacio se diseñó una modalidad de operación que reemplaza el uso de tierra en coberturas intermedias por el uso de geosintéticos reutilizables.

La metodología de cobertura con un geosintético (agrofilm) en las capas intermedias de residuos para mejorar el rendimiento con respecto a la cobertura de tierra tuvo un impacto positivo en el tiempo de operación de las subceldas, reduciendo hasta un 40% las horas de dedicación de trabajo por parte del personal. En términos generales un relleno sanitario manual requiere de mucho trabajo por parte de los operarios, siendo el transporte de material de cobertura una de las actividades más desgastantes; por tal motivo, reemplazar la cobertura intermedia por un material más ligero pero que también garantice la impermeabilización de los residuos redujo hasta en 5 horas la carga de trabajo de los operadores. Además, este material confiere propiedades de conservación de temperatura al interior de la celda, facilitando su descomposición, la evaporación de los lixiviados que se puedan generar y la estabilidad de la masa de residuos.

Durante la operación de los sitios de disposición rehabilitados las condiciones eólicas juegan un papel importante ya que son la principal causa de dispersión de los residuos livianos, como papeles o plásticos. Se ha implementado un sistema de rejas metálicas de 6 x 3 metros para que aquellos residuos que son transportados por el viento sean retenidos dentro de las instalaciones; este sistema de rejas es movable y adaptable a la dirección y dinámica de vientos de cada uno de los botaderos rehabilitados.



3.3.8 Cobertura final térrea

Una vez alcanzado el nivel de coronamiento se realiza el cierre de la etapa de disposición mediante trinchera, para continuar con la siguiente subcelda repitiendo los pasos descritos anteriormente. Este método de crecimiento vertical es más eficiente ya que obliga a cerrar una celda para iniciar otra, reduciendo la superficie de residuos expuestos y por ende la presencia de olores, vectores y minimiza al máximo la generación de lixiviados.

El método consiste en realizar movimiento de tierra manual desde el banco de préstamo cercano hacia la subcelda de operación con una cobertura de 20 cm. Este puede considerarse como un cierre parcial puesto que, si el método de disposición final es mixto, una vez se haga el cierre a todas las subceldas al nivel de coronamiento se procede con la disposición final con el método área (Figura 30).

La operación en área seguirá los mismos pasos que la operación en trinchera, desde la calendarización, delimitación, hasta el cierre definitivo del relleno sanitario al cumplir su vida útil.





4. Lecciones aprendidas

Con el cierre y rehabilitación de los botaderos a cielo abierto de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas se logró una transformación de los sitios, generando beneficios técnicos, sociales, ambientales y financieros.

El principal desafío una vez construido un relleno sanitario es asegurar su correcta operación. Así, en lo técnico, se generaron capacidades locales para la gestión de un sitio de disposición final a través del desarrollo de un manual de operaciones y el seguimiento a los operarios por un lapso de nueve meses durante las épocas seca y lluviosa. Los operadores de los sitios de disposición final adquirieron destrezas propias en el manejo, por ejemplo, el uso de una plancha metálica en el camión recolector para facilitar la descarga a la subcelda, el uso de bolsas de arena para la delimitación de subceldas para lograr una mejor estabilidad y reducir el contacto de los residuos con agua de lluvia, procedimientos que tienen potencial de aplicarse en otros sitios de operación manual.

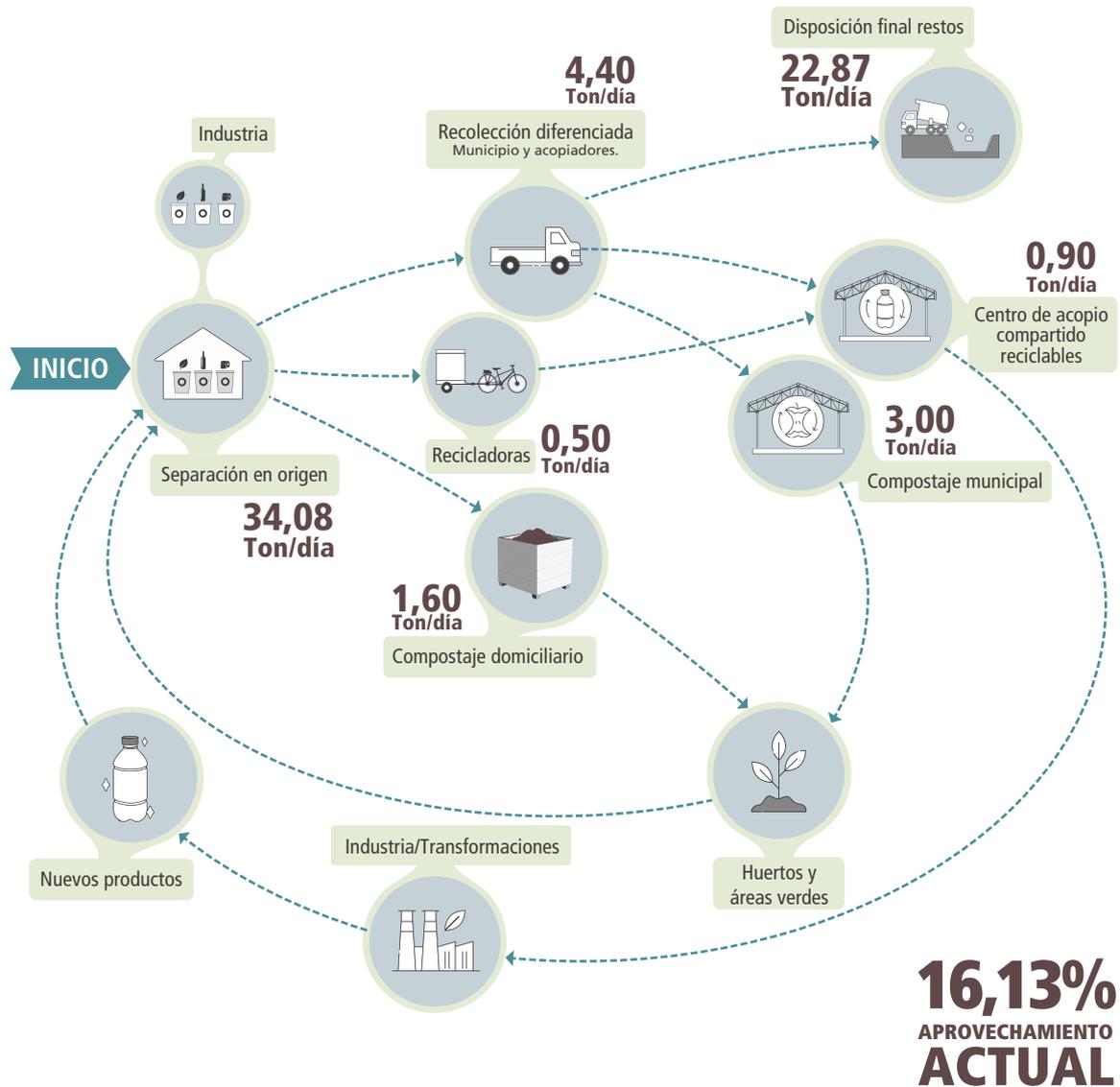
El trabajo ordenado en subceldas permite mejor control en la operación del sitio de disposición final, de igual manera, el reemplazo de cobertura térrea por geosintéticos prolonga la vida útil del sitio y mejora la compactación de la masa de residuos, optimizando el proceso y el rendimiento del personal.

Dadas las condiciones climáticas del chaco cruceño y las medidas de impermeabilización de las subceldas, después de nueve meses de operación no se ha evidenciado la generación de lixiviado, mostrando que los sistemas de impermeabilización con geosintéticos y la operación de las subceldas es eficiente. La ausencia de generación de lixiviado también se explica por el aprovechamiento en origen de la fracción orgánica a través de composteras domiciliarias y la alimentación de animales de granja a nivel familiar.

Uno de los principales problemas que enfrentan los municipios al momento de iniciar la operación de un sitio de disposición final es encontrar el terreno para su operación. Así, con el fin de dar cumplimiento a la planificación para el cierre de botaderos, se ha optimizado los sitios donde estos ya estaban emplazados, estableciendo una celda de cierre y una celda de operación. En el caso del Chaco Cruceño, los tres municipios han logrado el perfeccionamiento de su derecho propietario, aspecto que ha facilitado el desarrollo de las obras.

La gestión operativa de los residuos inicia con la generación de residuos, continúa con la recolección y transporte, considerando el aprovechamiento previo de las fracciones orgánica e inorgánica reciclable, y culmina con la disposición final de la fracción no aprovechable. Así, el proyecto Basura Cero ha trabajado en todas las etapas de la gestión operativa, por lo que el cierre y rehabilitación de los botaderos son parte de un modelo de gestión circular (Figura 31). Dada la disponibilidad de espacio y recursos, la vida útil de la celda de operación ha sido planificada por un período de cinco años. Sin embargo, debido al incremento en el aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, la correcta compactación y el uso de cobertura geosintética en lugar de cobertura térrea, la vida útil se ha ampliado a diez años en los tres municipios. Adicionalmente, los terrenos tienen la capacidad de habilitar una nueva celda de operación.

Figura 25. Modelo de gestión circular en el Chaco Cruceño. Proyecto Basura Cero



Nota. El modelo reflejado en la figura parte de la separación en origen que da pie al compostaje domiciliario, la recuperación de materiales por las recicladoras y la recolección municipal diferenciada que permitirá incrementar el aprovechamiento de residuos y reducir los desechos que llegan a disposición final, fomentando la circularidad y ampliando la vida útil de los rellenos.

El sitio de disposición final de Boyuibe fue uno de los más complejos dadas las características del terreno, sin embargo, se pudo concretar un diseño acorde a estas cualidades; por esa razón la forma de diamante de la celda de relleno sanitario.



Botadero a cielo abierto Cuevo, Gestión 2020



Botadero cerrado y relleno sanitario implementado 2022

En lo ambiental, se eliminaron por completo los residuos desparramados en los botaderos y han sido confinados en celdas de cierre en cumplimiento a la normativa vigente. Los desechos diarios son depositados en una celda de operación, minimizando los impactos ambientales al aire, agua, suelo y biodiversidad.

Con la implementación de cercos perimetrales, se restringe el ingreso de animales (cerdos, vacas, otros) a las celdas, evitando que se alimenten de residuos. Con la instalación de las chimeneas de biogás se consigue una quema controlada y se evitan las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

El proceso de licenciamiento ambiental de los proyectos de cierre y rehabilitación de los botaderos ha sido complejo debido a que esta figura recientemente aprobada por la cabeza de sector no está reflejada en la normativa ambiental (Reglamento de Prevención y Control Ambiental de la Ley 1333), en este sentido es recomendable generar un procedimiento específico de adecuación alineado a la normativa y planificación sectorial como también a las necesidades de los municipios.

En lo social, la comunicación de los proyectos de cierre y rehabilitación a recicladores, vecinos y otros actores ha sido determinante para una operación sin conflictos sociales. El involucramiento de jóvenes voluntarios denominados Brigadistas Ambientales permitió la difusión del proyecto y la apropiación de éste. Durante la operación de los rellenos sanitarios se observó que pobladores dejaban los residuos en la puerta de los sitios y les prendían fuego por desconocimiento a la nueva forma de disposición final. En este sentido, se ha generado y distribuido información apropiada en redes sociales y en los sitios de disposición final; de igual manera, se han dispuesto contenedores metálicos para el uso de personas que dejan residuos directamente en el sitio de disposición.

Con el ajuste de rutas del servicio de aseo aplicado y la adecuación de la disposición final a estas frecuencias se optimizan tiempos de trabajo, el empleo de recursos humanos e incluso suministros como el combustible, con todo ello los servicios son más eficientes.

La metodología de cobertura con un geosintético (agrofilm) en las capas intermedias de residuos contribuye a mejorar el rendimiento con respecto a la cobertura de tierra, y ha tenido un impacto positivo importante en el tiempo de operación de las subceldas, reduciendo hasta un 40% las horas de dedicación de trabajo por parte del personal, pudiendo usar el tiempo disponible en otras tareas inherentes a los servicios de aseo y aprovechamiento.

El modelo de gestión generado para el Chaco Cruceño brinda oportunidades económicas a las recicladoras, que al ser incorporadas en el sistema de aprovechamiento fuera de los botaderos, cuentan con rutas de recolección y acuerdos con un intermediario para la venta de los residuos reciclables.

Por último, en relación con el ámbito financiero, los tres municipios han creado puestos de trabajo para la operación de los botaderos rehabilitados, generando oportunidades de empleo. Por otro lado, si bien la operación de un relleno sanitario requiere erogación de recursos, se evitan gastos por remediación ambiental en estos sitios que suelen ser más costosos y requieren intervenciones de largo plazo.

Referencias

- Gaceta Oficial de Bolivia (2009). Constitución Política del Estado
- Gaceta Oficial de Bolivia (1992). Ley N° 1333 Ley General del Medio Ambiente.
- Gaceta Oficial de Bolivia (2011). Ley N°031 Ley Marco de Autonomías Andrés Ibáñez.
- Gaceta Oficial de Bolivia (2012). Ley N° 300 Ley de la Madre Tierra.
- Gaceta Oficial de Bolivia (2015). Ley N° 755 Ley de Gestión Integral de Residuos aprobada el 28 de octubre de 2015.
- Gaceta Oficial de Bolivia (2016). Decreto Supremo No 2954 de Reglamento General a la Ley No 755 de Gestión Integral de Residuos
- HELVETAS Swiss Intercooperation (2020). Diagnósticos Territoriales de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas.
- HELVETAS Swiss Intercooperation (s/a). Planes de Cierre y Rehabilitación de los Botaderos a Cielo Abierto de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2011). Diagnóstico Nacional de Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2014). Guía para el Diseño, Construcción, Operación, y Cierre de Rellenos Sanitarios, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2014). Guía para el Cierre Técnico de Botaderos, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2014). Guía DESCOM-FI, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2014). Guía de Educación Ambiental en la Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobado mediante resolución Ministerial 398 del 29 de septiembre de 2014.
- Ministerio de Medio Ambiente y agua (2016). Plan de Implementación de la Ley N° 755 aprobado mediante Resolución Ministerial N° 489 del 23 de diciembre de 2016 por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2018). Guía para el Servicio de Aseo Urbano (SAU) , aprobado mediante resolución Ministerial 725 del 21 de diciembre de 2018.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2021). Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos, R.M. 269/2021 del 18 de mayo de 2021.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2022). Guía para el fortalecimiento e Inclusión Social de Recicladoras y Recicladores de Residuos urbanos Reciclables, aprobado mediante resolución Ministerial 170 del 06 de mayo de 2022.

Glosario de Términos

Elaborado a partir de la Ley No 755 de Gestión Integral de Residuos y su reglamentación.

Botadero. Lugar de disposición final de residuos que no cumple con normas técnicas, ni disposiciones ambientales vigentes, creando o pudiendo crear riesgos sanitarios o ambientales.

Cierre técnico de botaderos. Sellado de un botadero cumpliendo las condiciones establecidas en la normativa técnica correspondiente.

Clausura. Suspensión definitiva de un sitio de disposición final o instalación de tratamiento de residuos, por no cumplir con los requisitos que establezca la normativa técnica correspondiente.

Disposición final. Etapa de la gestión operativa de los residuos que consiste en depositar de forma permanente los residuos en un espacio físico.

Relleno sanitario. Instalación o infraestructura que cumple con las condiciones técnicas, sanitarias y ambientales empleada para la disposición final de residuos donde se realiza el esparcimiento, acomodo y compactación de estos, sobre una base impermeable, la cobertura con tierra u otro material inerte, el manejo y tratamiento de lixiviados y gases y, el control de vectores con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población.

Remediación. Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos.

Plan de Post Cierre. Conjunto de actividades ejecutadas posteriores al cierre de un relleno sanitario para el mantenimiento de las instalaciones relacionadas con el sitio de disposición final.

Sitio contaminado. Área, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido modificado en sus características naturales por efecto de residuos que, por sus cantidades y características, representan un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes de las personas



HELVETAS Swiss Intercooperation Bolivia
Calle Gabriel René Moreno N° 1367
Edificio Taipi. Oficina 1. Piso 2
Urbanización San Miguel, Bloque H. Zona Calacoto
Casilla 2518
Telef./Fax: (591 – 2) 279 44 87 / 279 08 26 / 277 27 16
La Paz, Bolivia
www.helvetas.org/bolivia
bolivia@helvetas.org

 @Helvetas.bo

 @HelvetasBolivia

 Helvetas Bolivia

 helvetas_bolivia

 helvetas-bolivia