

Mejorando la Disposición de Desechos Sólidos en la Municipalidad de San Cristobal, República Dominicana



Diciembre del 2018



BATTELLE

ERG

SCS ENGINEERS

Limitación de Responsabilidad de USAID: Este estudio/reporte/sitio web (especificar) ha sido posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Los puntos de vista/opiniones de este informe son responsabilidad de los autores contratados por (Institución que corresponda). Sin embargo, no reflejan necesariamente el punto de vista de esta institución ni de USAID o el Gobierno de los Estados Unidos.

Limitación de Responsabilidad de la EPA: Esta publicación fue elaborada bajo el Acuerdo de Asistencia No. X8836172-0 concedida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). No ha sido revisado formalmente por la EPA. Las opiniones expresadas en este documento son responsabilidad exclusiva de Battelle y la EPA no respalda ningún producto o servicios comerciales mencionados en esta publicación.

Limitación de Responsabilidad de Battelle: Este informe es un trabajo preparado por Battelle para el Gobierno de los Estados Unidos y sus socios en acuerdos de cooperación. En ningún caso ni el Gobierno de los Estados Unidos ni Battelle tendrán responsabilidad alguna por las posibles consecuencias sobre cualquier uso, mal uso, incapacidad de usar o dependencia de cualquier producto, información, diseños, u otros datos incluidos en este documento, y no declara ni de otra manera garantiza de ninguna manera la utilidad, seguridad, exactitud o aplicabilidad de los contenidos de este.

Limitación de Responsabilidad de SCS: Este informe fue preparado de acuerdo con la prudencia y habilidad ejercida por profesionales de biogás de rellenos sanitarios, bajo circunstancias similares en esta u otras localidades similares. No se ha hecho ninguna garantía expresa o implícita en cuanto a las opiniones profesionales presentadas acá. Cambios en el uso y condiciones de la propiedad del relleno sanitario (por ejemplo, variaciones en la precipitación, niveles de agua, operaciones del relleno sanitario, sistemas de la cubierta final u otros factores) podrían afectar la futura recuperación de biogás en el propuesto relleno sanitario. No se garantiza la cantidad o calidad disponible de biogás. Este informe ha sido preparado exclusivamente para uso de Battelle. Ninguna otra parte está prevista como beneficiario de este informe ni de la información que contiene. Terceros utilizan este informen bajo su propio riesgo. Los autores no asumen ninguna responsabilidad por la precisión de la información que han obtenido de, o ha sido provista por, terceros.

Índice

	<u>Página</u>
Resumen Ejecutivo	7
Lista de Acrónimos.....	9
1.0 Introducción.....	11
2.0 Antecedentes del Sitio	11
3.0 Objetivos de Diseño y Operación	14
4.0 Recomendaciones de Mejores Prácticas para Mejorar las Operaciones del Sitio	15
4.1 Mejoramiento del Camino de Acceso y Seguridad Perimetral.....	15
4.1.1 Práctica Actual: Camino de Acceso.....	15
4.1.2 Mejor Práctica: Mantenimiento Adecuado al Camino de Acceso.....	15
4.1.3 Práctica Actual: Seguridad del Perímetro	16
4.1.4 Mejor Práctica: Mejorando la Seguridad Perimetral	16
4.2 Establecimiento de un Frente de Trabajo Adecuado y Cobertura	17
4.2.1 Práctica Actual: Frente de Trabajo	17
4.2.2 Mejor Práctica: Establecer un Frente de Trabajo	17
4.3 Mejorando las Operaciones Actuales (Relleno, Nivelación y Compactación)	18
4.3.1 Práctica Actual: Equipo.....	18
4.3.2 Mejor Práctica: Establecer las Operaciones del Equipo y Plan de Mantenimiento	19
4.4 Estableciendo Procedimientos de Gestión de Registros	19
4.4.1 Práctica Actual: Procedimientos de Gestión de Registros	19
4.4.2 Mejor Práctica: Establecer Procedimientos de Gestión de Registros	19
4.5 Gestión de las Aguas Superficiales.....	21
4.5.1 Práctica Actual: Gestión de Aguas Superficiales.....	21
4.5.2 Mejor Práctica: Controlando las Aguas Superficiales.....	22
4.6 Control de Incendios	22
4.6.1 Práctica Actual: Incendios a Cielo Abierto y Subterráneos	22
4.6.2 Mejor Práctica: Controlando los Incendios a Cielo Abierto	23
4.7 Sector Informal de Reciclaje	23
4.7.1 Práctica Actual: Recolectores Informales de Desechos	23
4.7.2 Mejor Práctica: Formalizando al Sector Informal.....	24
4.8 Monitoreo y Mantenimiento	25
4.8.1 Práctica Actual: Basura Voladora	25
4.8.2 Mejor Práctica: Establecer un Programa de Monitoreo y Mantenimiento	25
5.0 Plan de Conversión y Expansión del Relleno Sanitario.....	25
5.1 Regulaciones Aplicables	26
5.1.1 Procesos de Permisos	27

5.1.2	Otros Requisitos Ambientales Relevantes	27
5.2	Caracterización del Sitio.....	28
5.2.1	Estimación de Desechos Existentes.....	29
5.2.2	Exploración del Subsuelo	29
5.3	Opciones de Expansión	34
5.4	Diseño Conceptual	34
5.5	Secuencia de Construcción.....	35
5.6	Transferencia de Desechos de Áreas sin Recubrimiento.....	36
5.7	Gestión de Lixiviados	36
5.8	Generación de Lixiviados	37
5.9	Resultados de la Generación de Lixiviados	38
5.10	Recolección de Lixiviados	39
5.11	Bombeo de Lixiviados	39
5.12	Almacenamiento de Lixiviados.....	40
5.13	Gestión del Biogás	41
6.0	Plan de Mejora - Relleno Sanitario Propuesto.....	41
6.1	Estimado de Vida del Relleno Sanitario Propuesto	41
6.2	Diseño Conceptual	42
6.3	Sistema de Cobertura Final.....	43
6.4	Evaluación de Estabilidad de Taludes	44
6.5	Gestión de Aguas Subterráneas y Control de la Erosión	45
6.6	Gestión de Biogás	47
6.6.1	Generación de Biogás y Proyecciones de Recuperación.....	47
6.6.2	Diseño de Campo de Pozos	53
6.6.3	Diseño de Pozo de Extracción.....	54
6.6.4	Diseño de Tuberías Principal y Laterales	56
6.6.5	Construcción de la Tubería Principal	56
6.6.6	Manejo de Condensado.....	56
6.6.7	Equipo de Control	57
6.6.8	Proyecto de Generación de Energía Eléctrica.....	59
6.7	Monitoreo.....	60
6.7.1	Monitoreo de Agua Subterránea.....	61
6.7.2	Monitoreo de Biogás	63
7.0	Estimaciones de Costos.....	64
7.1	Plan de Conversión/Expansión del Relleno Sanitario Propuesto	64
7.2	Cierre.....	65
7.4	Post-cierre	66
8.0	Guía de Contratación e Inversión	67
8.1	Contratando con el Sector Privado	67

8.1.1	Concesión	67
8.1.2	Contrato de Diseño y Construcción	67
8.1.3	Contratos de Servicio para la Administracion del Relleno Sanitario	67
8.2	Procesos de Licitación	68
8.2	Oportunidades de Inversión de Proyectos	70
Apéndice A: Lista de Recursos Técnicos y Contratación		
Apéndice B: Reporte Geotécnico HCSA		
Apéndice C: Planos del Diseño Conceptual		
Apéndice D: Resultados del Modelo de Biogás		
Apéndice E: Estimación de Costos de Construcción del Relleno Sanitario Propuesto		
Apéndice F: Ejemplos de Sistemas de Bombeo Eléctricos Sumergibles		

Lista de Tablas

Tabla 1. Historial de la Disposición de Desechos Estimada.....	29
Tabla 2. Resumen de Las Pruebas de Laboratorio	31
Tabla 3. Resumen de Las Pruebas de Compactación	31
Tabla 4. Resumen de los Resultados de Conductividad Hidráulica	32
Tabla 5. Resumen de los Resultados de Pruebas Triaxiales	32
Tabla 6. Resumen de los Resultados de Pruebas de Bombeo	32
Tabla 7. Resumen de las Mediciones de Aguas Subterráneas.....	33
Tabla 8. Resumen del Desarrollo del Relleno Sanitario Propuesto.....	36
Tabla 9. Valores Usados en el Modelo HELP (Durante Operación).....	37
Tabla 10. Valores Usados en el Modelo HELP (Cierre)	38
Tabla 11. Resumen de Resultados de Generación de Lixiviados para un Área de 1 ha	38
Tabla 12. Resumen de Resultados de Generación de Lixiviados para Celda Recién Abierta (Condición de Mareas De Tempestades)	39
Tabla 13. Capacidad Hidráulica de la Tubería de Recolección de Lixiviados	39
Tabla 14. Resultados de la Evaluación de Bombas de Lixiviados	40
Tabla 15. Evaluación de Almacenamiento de Lixiviados (Pico Diario).....	41
Tabla 16. Evaluación de Almacenamiento de Lixiviados (Promedio Diario)	41
Tabla 17. Capacidad y Expectativa de Vida del Relleno Sanitario Propuesto	42
Tabla 18. Planos del Diseño Conceptual del Relleno Sanitario Propuesto	43
Tabla 19. Propiedades Geotécnicas Supuestas.....	44
Tabla 20. Índices Históricos y Proyectos para la Disposición de Desechos	49
Tabla 21. Composición Estimada de Desechos	50
Tabla 22. Índices Proyectos de Recuperación de Biogás	53
Tabla 23. Tamaño Propuesto de la Planta de Energía y Equipo de Control	58
Tabla 24. Lista de los Principales Elementos de Diseño de SCRB.....	59
Tabla 25. Monitoreo de Detección de Componentes de Agua Subterránea	62
Tabla 26. Resumen de Costos del Plan de Conversión/Expansión	64
Tabla 27. Resumen de Costos del Cierre	65
Tabla 28. Resumen de Costos del SCRB por Fase	65
Tabla 29. Resumen de los Costos de Post-cierre	66

Lista de Figuras

Figura 1. Plano del Sitio Mostrando el Área Impactada por Desechos y Área Disponible para el Relleno Sanitario Propuesto	26
Figura 2. Ubicación de los Sondeos	30
Figura 3. Mapa Potenciométrico de Aguas Subterráneas	33
Figura 4. Distribución Conceptual de las Celdas del Relleno Sanitario Propuesto	34
Figura 5. Sistema de Recubrimiento Inferior	35
Figura 6. Sistema de Cobertura Final	35
Figura 7. Sistema de Cobertura Final	44
Figura 8. Diagrama de la Cuenta de Almacenamiento de Aguas Pluviales Típica	46
Figura 9. Cabeza de Pozo de biogás.....	55
Figura 10. Estación de succión y quemado típica	57
Figura 11. Quemador de Flama Encerrada	59
Figura 12. Recuperación, Procesamiento y Energía	60
Figura 13. Monitoreo de biogás	64
Figura 14. Proceso para la Privatización de un Relleno Sanitario.....	69

Resumen Ejecutivo

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), a instancias del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, están dando asistencia a la Municipalidad de San Cristóbal en relación con la gestión de residuos sólidos. Se explica en la Sección 1 que la EPA conformó un equipo para el proyecto que incluyó a USAID, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Battelle Memorial Institute, Eastern Research Group, SCS Engineers, y Horizon Consultants para desarrollar un plan que serviría para mejorar las operaciones y condiciones ambientales en el vertedero municipal de San Cristóbal, y mover los residuos sólidos en el vertedero existente a un relleno sanitario propuesto.

Este informe y plan conceptual proporcionará a San Cristóbal una hoja de ruta que serviría para abordar estas preocupaciones a través de la transición del vertedero existente a un relleno sanitario, ubicado en el mismo lugar y que está basado en normas de diseño y mejores prácticas de un relleno sanitario moderno (Sección 3). Problemas ambientales tales como la contaminación del agua subterránea, contaminación del agua superficial y emisiones atmosféricas, que se presenta en la Sección 2, serán abordados mediante la construcción del relleno sanitario. Un relleno sanitario correctamente diseñado y construido evitaría la contaminación del agua subterránea a través del uso de celdas de disposición con un sistema de recubrimiento y gestión de lixiviados que impide que los contaminantes tengan contacto con el suelo, subsuelo, y agua superficial. El agua superficial sería manejada para limitar su contacto con los residuos. Los canales del agua superficial serían desviados alrededor del relleno sanitario y el agua pluvial que cae dentro de los límites del Sitio, sería recolectada y según proceda, tratada en el sitio. Inicialmente, se reducirían las emisiones atmosféricas al extinguir los incendios en el Sitio. El control del biogás producido durante la descomposición de los desechos sería controlado a través del uso de recubrimiento diario y final. Finalmente, la instalación de un sistema de control y recolección de biogás también limitaría los olores y las emisiones de biogás que contienen metano (un gas de efecto invernadero) y otros compuestos orgánicos que contribuyen a la contaminación atmosférica local.

La seguridad se mejoraría, controlando el acceso del público al Sitio. Un plan de gestión del relleno sanitario, aun cuando no es parte del diseño conceptual, les informaría a los operadores sobre cómo manejar adecuadamente el relleno sanitario para maximizar su rendimiento a la vez que asegura la seguridad de los trabajadores y del público con acceso aprobado al Sitio. El diseño y la gestión del Sitio haría que cumpla con las normas internacionales actuales para la gestión de desechos sólidos e impactos ambientales, proporcionando un plan para el futuro, operaciones de largo plazo del Sitio, incluyendo una potencial fuente de recuperación (por ejemplo, usos beneficios del biogás) y la sostenibilidad en general.

En la Sección 4 se han detallado las acciones inmediatas para mejorar las condiciones y operaciones existentes del vertedero e incluyen lo siguiente:

- Mejoramiento del camino de acceso y seguridad del perímetro.
- Establecimiento de un frente de trabajo apropiado y cubierta diaria.
- Establecimiento de operaciones del equipo y plan de mantenimiento.
- Establecimiento procedimientos de gestión de registros.
- Control de aguas superficiales.
- Control de la quema a cielo abierto.
- Formalización del sector informal.
- Conformación de un programa de monitoreo y mantenimiento.

En la Sección 5 se encuentra el plan propuesto de conversión y expansión para un relleno sanitario. El plan propuesto incluye las disposiciones para construir celdas especialmente diseñadas que estén fuera del área del vertedero existente, junto con la secuenciación de la construcción que permite que el Sitio continúe recibiendo los nuevos desechos a la vez que facilita el movimiento de desechos existentes hacia las nuevas celdas. Se realizó una caracterización del subsuelo del Sitio (que se encuentran en Apéndice

B) que involucró la instalación de 14 pozos de perforación y 7 piezómetros que definieron la geología e hidrogeología del Sitio de mejor manera. Se realizó una estimación de la basura actual en el lugar basándose en las observaciones de campo, estudios pasados y en la evaluación de fotografías aéreas históricas.

Además del diseño conceptual y de los planes de construcción (que se encuentran en Apéndice C), fueron considerados y se encuentran presentes en las Secciones 5 y 6 los planes para el control del agua superficial que entra y sale del Sitio, biogás y lixiviados. Los planes para monitoreo de aguas subterráneas y biogás se encuentran incluidos en la Sección 6.

La implementación de este plan llevará una considerable planificación, coordinación y financiamiento. La Sección 7 incluye una perspectiva general de los costos estimados asociados con el diseño, la construcción, operación, y monitoreo posterior a la clausura del relleno sanitario. A continuación, se presenta un resumen de los costos:

Plan	Costos Estimados (USD)
Plan de conversión/expansión	5,607,800
Cierre	3,165,580
Sistema de control y captura de biogás	281,716
Post-cierre (total por 30 años)	2,356,034

En el Apéndice D se encuentra un desglose detallado de los costos principales.

Finalmente, la Sección 8 provee una breve introducción a los tipos de contratos y acuerdos más comunes para el desarrollo, construcción y manejo de rellenos sanitarios, que se pueden tomar en cuenta durante la implementación del proyecto. En el Apéndice A se encuentra una lista de recursos de contratación y ejemplos de contratos, junto con una lista inicial de posibles instituciones financieras que pueden proveer los tipos de apoyo financiero necesario para el desarrollo del proyecto.

Lista de Acrónimos

ASTM	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CAS RN	Número de registro del 'Chemical Abstracts Service'
CCAC	Coalición para Aire y Clima Limpios
CDEEE	Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales
cm	centímetro
CO ₂	dióxido de carbono
CH ₄	metano
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
ERG	Eastern Research Group
EPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
EUA	Estados Unidos Americanos
FCM	factor de corrección de metano
g	gravedad de la Tierra
GEF	Fondo Mundial para el Medio Ambiente
GMI	Iniciativa Mundial de Metano
ha	hectárea
HCSA	Horizon Consultants
HELP	Evaluación Hidrológica del Rendimiento del Relleno Sanitario (modelo)
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón
km	kilómetro
kN	kilo Newton
kPa	kilo Pascal
LandGEM	Modelo de Emisiones de Gas de Relleno Sanitario
LFG	gas de vertedero
LFGE	energía de gas de vertedero

LLDPE	polietileno lineal de baja densidad
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³ /min	metros cúbicos por minuto
m ³ /hr	metros cúbicos por hora
m ³ /seg	metros cúbicos por segundo
Mg	megagramo o tonelada métrica
mil	milésima de pulgada
mm	milímetros
MW	megavatio
O&M	operación y mantenimiento
PCSTABL5M	Programa de computador usado para resolver problemas de estabilidad de taludes
PEAD	polietileno de alta densidad
ppmV	partes por millón por volumen
RFIQ	solicitud de expresión de interés y de cualidades
RFP	solicitud de propuestas
RI	radio de influencia
RS	residuos sólidos
SCRB	Sistema de Recolección y Control de Biogás
SCS	SCS Engineers
SRL	Sistema de Recolección de Lixiviados
SPT	ensayos de penetración estándar
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
US	Estados Unidos
USCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
USD	Dólares de los Estados Unidos
USTDA	Agencia de Comercio y Desarrollo de los Estados Unidos

1.0 Introducción

a. Descripción General del Proyecto

La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), a instancias del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la República Dominicana, están dando asistencia a la Municipalidad de San Cristóbal con la gestión de su vertedero de residuos sólidos (RS) existente.

La EPA conformó un equipo para el proyecto que incluyó a USAID, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Battelle Memorial Institute, Eastern Research Group, SCS Engineers, y Horizon Consultants (HCSA) para conducir el trabajo de campo y desarrollar un plan que serviría para mejorar las operaciones y condiciones ambientales en el vertedero existente y mover el RS desechado en el vertedero existente a un relleno sanitario propuesto.

Durante un período de varios meses el equipo del proyecto se reunió con la Municipalidad, los operadores del Sitio y otros grupos de interés para recolectar información y completar este plan. Además, en los años 2017 y 2018, el equipo realizó varias visitas de campo, una reunión comunitaria y una evaluación del Sitio.

b. Objetivos del Proyecto

El objetivo principal del proyecto es aumentar las capacidades técnicas de la municipalidad de San Cristóbal para manejar residuos sólidos, y en particular, este Sitio de disposición final. El equipo desarrolló este plan mediante la evaluación de datos existentes y de mejores prácticas internacionales relacionadas con el diseño, construcción y operación del relleno sanitario. Además, el plan incluye consideraciones y recomendaciones para el manejo adecuado de disposición de RS, biogás, lixiviados, agua superficial que entra y sale, cierre y post-cierre del Sitio. Aún más importante, incluye recomendaciones a corto plazo para mejorar las operaciones y condiciones ambientales en el vertedero existente. También incluye el diseño conceptual de relleno sanitario que podría ser construido en el Sitio y un plan para el cierre/reubicación de las áreas existentes del vertedero. El diseño conceptual también incluye los costos estimados de inversión.

En agosto del 2018, se presentó el plan conceptual y directrices operativas a los interesados principales para proveer directrices sobre cómo mejorar las operaciones y administración en el Sitio. El plan también sirve como una guía preliminar para contratar y atraer inversiones para desarrollar y construir un relleno sanitario y cierre el vertedero existente.

2.0 Antecedentes del Sitio

La Municipalidad comenzó a usar el Sitio en el año 2014. Actualmente, el Sitio recibe camiones con RS de San Cristóbal (pob. 250,000), Cambita Garabitos (pob. 45,000) y de Hatillo. Los RS son recolectados por varias empresas privadas de camiones que le dan servicio de recolección a las áreas residenciales y comerciales. Las estimaciones de desechos que se reciben en el Sitio oscilan de entre 210 a 270 Mg/día¹ (1 Mg = 1 tonelada = 1 tonelada métrica). El vertedero activo actual cubre aproximadamente 6 ha (60,000 m²); el área total de la propiedad del Sitio es de aproximadamente 22 ha. Los usos de las tierras aledañas son principalmente forestales y agrícolas.

¹ Caso de Aplicación de la Herramientas para el Cálculo de Emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta a Partir del Sector de Residuos Sólidos, Red Centroamericana de conocimiento e intercambio de experiencias para la gestión integral de residuos sólidos (Redgirs), 2016.



Vista del Sitio que se orienta hacia el oriente.

Actualmente, el Sitio está siendo operado como un vertedero de cielo abierto semi-controlado. No hay acceso controlado, no hay sistema de revestimiento inferior ni monitoreo de las aguas subterráneas o controles de biogás, hay una compactación mínima de los RS y no se le aplica cubierta del suelo a los desechos. Algunas porciones están incendiadas. Estas condiciones están produciendo grandes desafíos en el Sitio, tales como el pepenado de manera insegura en la basura, incendios no controlados, basura volada por el viento, escurrimiento de lixiviados hacia un arroyo adyacente y emisiones de biogás. Estas condiciones han traído muchas preocupaciones y quejas de las comunidades aledañas, las que han sido comunicadas a la Municipalidad a través de “Juntas Comunitarias.”

El Sitio aloja a una población recicladora activa, que se estima en 115 personas (comúnmente llamados buzos) que provienen de la República Dominicana (30%) y de Haití (70%). De esta población, aproximadamente 75 personas entran a diario a escoger, clasificar, empacar y vender reciclables, como por ejemplo plásticos, cartón, metales y vidrio. De acuerdo con la Municipalidad, la mayoría de los buzos están registrados y han recibido vacunaciones básicas para una mejor protección de su salud.

El Sitio se ubica en 5 parcelas de tierra, haciendo un total aproximado de 22 ha. Una propiedad adyacente cerca del área actual del vertedero activo contiene una gran cantidad de plásticos mixtos los cuales, a través de la revisión de fotografías aéreas históricas, muestran lo acumulado durante varios últimos



Los buzos sacando reciclables entre la basura en el área del vertido.

años. No parece que existe una clasificación activa ni empaquetado de reciclables para ser transportado y vendido de esta área.



Propiedad privada que contiene una gran cantidad de plásticos.

Líneas de energía de alta tensión cruzan sobre el Sitio, son controladas por el Ministerio de Energía y Minas y operado por la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE). El camino de acceso al Sitio pasa a través de áreas residenciales y en algunas áreas pasan inmediatamente a la par de los hogares.

Un área natural de escorrentía corre a través del Sitio, alimentado por una alcantarilla que está enterrada y descarga en el reborde sur del área de disposición. El drenaje desde el Sitio contiene lixiviados y corre hacia el sur a una serie de estanques las que continuamente descargan lixiviados hacia el Arroyo Najayo.



Estanque que contiene lixiviados en el reborde sur de la propiedad.



Líneas de energía que cruzan sobre el área activa de vertido.

3.0 Objetivos de Diseño y Operación

Existen cinco objetivos claves para el desarrollo y finalmente la implementación de este plan:

- Protección del medio ambiente
- Seguridad pública y de los trabajadores
- Cumplimiento
- Desempeño
- Sostenibilidad

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), el manejo de los desechos sólidos es una de las tareas más difíciles para todos los gobiernos locales a nivel mundial. Los basureros a cielo abierto constituyen una amenaza tanto para la salud humana como para la salud ambiental, incluyendo los recursos terrestres e hídricos. UNEP (2005) también manifiesta que “es un asunto de política nacional que se cierren los basureros de cielo abierto debido a los efectos adversos que posan sobre la sociedad y el medio ambiente. Corresponde a las autoridades nacionales y locales adoptar mejores métodos de disposición de residuos que sean adecuados, al cambiar su política y práctica actual de botaderos de cielo abierto a botaderos controlados y hacia la transición de rellenos sanitarios”.

Este informe y plan conceptual proveen a la Municipalidad con una hoja de ruta para abordar estas preocupaciones mediante la transición del botadero a cielo abierto existente a un relleno sanitario ubicado en el mismo lugar y basado en normas de diseño y mejores prácticas de los rellenos sanitarios modernos. Las preocupaciones ambientales tales como la contaminación del agua subterránea, contaminación del agua superficial y emisiones atmosféricas podrían ser minimizadas significativamente mediante la construcción de un relleno sanitario. Un relleno sanitario debidamente diseñado y construido evitaría la contaminación del agua subterránea mediante el uso de celdas de disposición con un sistema de recubrimiento y gestión de lixiviados que impide que los contaminantes hagan contacto con el suelo y el agua subterránea. El agua superficial sería manejada para limitar el contacto con la masa de residuos (por ejemplo, reducir la generación de lixiviados). Los canales de aguas superficiales se instalarían alrededor del relleno sanitario para recolectar, controlar y tratar las aguas pluviales que caen dentro de los límites del Sitio. Inicialmente, se reducirían las emisiones atmosféricas al extinguir los incendios actuales en el Sitio. El control de biogás producido durante la descomposición de los desechos sería controlado a través del uso de cobertura diaria y final. Como medida provisional, se podrían instalar chimeneas para permitir que el biogás se escape del Sitio y así evitar la migración del gas hacia estructuras cercanas. Eventualmente, la instalación de un sistema de recolección y control de biogás también limitaría los olores y las emisiones de biogás que contienen metano (un gas de efecto invernadero muy potente) y otros compuestos volátiles orgánicos que contribuyen a la contaminación atmosférica local.

Se mejoraría la seguridad mediante el control del acceso del público al Sitio. Un plan de gestión del relleno sanitario, aun cuando no es parte de este diseño conceptual, les informaría a los operadores sobre la mejor forma de manejar el relleno sanitario para maximizar su rendimiento a la vez que asegura la seguridad de los trabajadores y del público con acceso aprobado al Sitio. El diseño y gestión adecuada del Sitio también lo haría de acuerdo con las normas internacionales actuales para la gestión de desechos sólidos e impacto ambiental proporcionando un plan para la operación a largo plazo del Sitio, incluyendo un potencial (ej., uso benéfico del biogás) y la sostenibilidad general del Sitio de la comunidad local.

4.0 Recomendaciones de Mejores Prácticas para Mejorar las Operaciones del Sitio

A continuación, se encuentra un resumen de las recomendaciones y acciones más inmediatas, de bajo costo y de corto plazo que mejorarían la eficiencia operativa, condiciones de trabajo y controles ambientales del Sitio. Estas recomendaciones están basadas en las mejores prácticas de la industria y respaldadas por observaciones de campo, fotografías y ejemplos específicos del Sitio. Estas acciones también reducirían el impacto ambiental al Sitio y comunidades circundantes y en última instancia también podría servir para maximizar la vida útil del Sitio y optimizar su sostenibilidad. Estas mejoras también ayudarían para que el Sitio hiciera el cambio hacia un relleno sanitario y establecer mejores prácticas para la correcta operación y mantenimiento de lo mismo (O&M).

4.1 Mejoramiento del Camino de Acceso y Seguridad Perimetral

4.1.1 Práctica Actual: Camino de Acceso

El camino de acceso del Sitio actual no tiene buen mantenimiento ni drenaje pluvial, es angosto y está sujeto al clima húmedo, haciendo difícil que los vehículos con desechos y recolección de reciclables pueda acceder allí.



Sección del camino de acceso actual mostrando basura v drenaje deficiente.

4.1.2 Mejor Práctica: Mantenimiento Adecuado al Camino de Acceso

Los planes para mejorar los caminos de acceso existentes, tanto aquellos que son permanentes como los temporales, deberían ser priorizadas debido a la importancia de que los vehículos tengan un acceso seguro a las áreas de disposición y almacenamiento de reciclables. Los caminos que tienen un mantenimiento adecuado también reducen los daños para los vehículos. Los caminos de acceso existentes deberían ser ampliados y nivelados periódicamente usando un buldócer. Si estuviera disponible localmente, también se podría usar una motoniveladora – posiblemente alquilarla por un corto plazo – en combinación con una retroexcavadora para tener



Mejor Practica: Mantener los caminos de acceso apropiadamente.

un mantenimiento más efectivo de los caminos, aun cuando solamente se estuvieran usando periódicamente. Generalmente, los caminos permanentes tienen dos carriles (cada uno de por lo menos 4 metros de ancho) con canales apropiados para permitir el drenaje. La tierra y grava en el sitio podría ser una forma económica para ampliar la calle y rellenar cualquier depresión en la superficie.

Los caminos temporales se utilizan para transportar los desechos desde el camino permanente a el área de disposición, ya que la ubicación del área de disposición cambia. Es aceptable tener una compactación del suelo con una inclinación adecuada para proporcionar drenaje apropiado. El suelo puede ser revestido con cualquier tipo de material que proporcione tracción como por ejemplo grava.

Las condiciones climáticas locales dirigen la frecuencia del mantenimiento para los caminos permanentes y temporales; la estación lluviosa requiere reparaciones más frecuentes; la estación seca usualmente requiere de reparaciones menos frecuentes.

4.1.3 Práctica Actual: Seguridad del Perímetro

Existe una sola barda a lo largo de ciertas partes del límite del Sitio. La cerca está diseñada principalmente para evitar que el ganado entre al Sitio a la vez que también se captura la basura que vuela.

4.1.4 Mejor Práctica: Mejorando la Seguridad Perimetral

El cercado perimetral, combinado con las bermas o zanjas, debería usarse para definir los límites del Sitio, controlar el acceso (por ejemplo, vehículos no autorizados, buzos) y mantener a los animales fuera. El cercado actual deberá ser extendido y mantenido alrededor de los límites actuales de la disposición de desechos en el Sitio. El tipo de cercado usado actualmente es económico para construir y mantener, ayuda con la captura de basura que vuela hacia el área circundante y reduce la entrada del ganado que se encuentra pastando cerca de allí. Si estuviera disponible, un método preferido para controlar los desechos que vuelan sobre la cerca actual del Sitio, sería tener cercas portátiles de residuos. También ayudaría a evitar que la huella de desechos se extendiera más allá de los límites actuales, especialmente adonde se podrían construir las nuevas celdas.

Actualmente, los buzos entran y salen de diferentes lugares alrededor del perímetro del Sitio. Al tener cercas adicionales, esto haría que los buzos entraran/salieran por la entrada principal para ayudarle al operador del relleno sanitario a tener un registro sobre la ubicación y cantidad de buzos que se encuentran dentro del Sitio, en caso de una emergencia (como, por ejemplo, incendio, deslizamiento de tierra o una tormenta de gran magnitud).

Otras formas de seguridad incluyen una entrada principal con cerradura para controlar el acceso no autorizado al Sitio. La señalización también es una forma económica de informar al público que el acceso al Sitio está controlado, detallar y mostrar las horas de operación y cualquier otra notificación (no vertidos ilegales, no incendios).



Cerca perimetral actual.



Mejor Práctica: Las cercas portátiles se pueden mover diariamente al frente de trabajo y estar posicionadas conforme a la dirección actual del viento.

4.2 Establecimiento de un Frente de Trabajo Adecuado y Cobertura

4.2.1 Práctica Actual: Frente de Trabajo

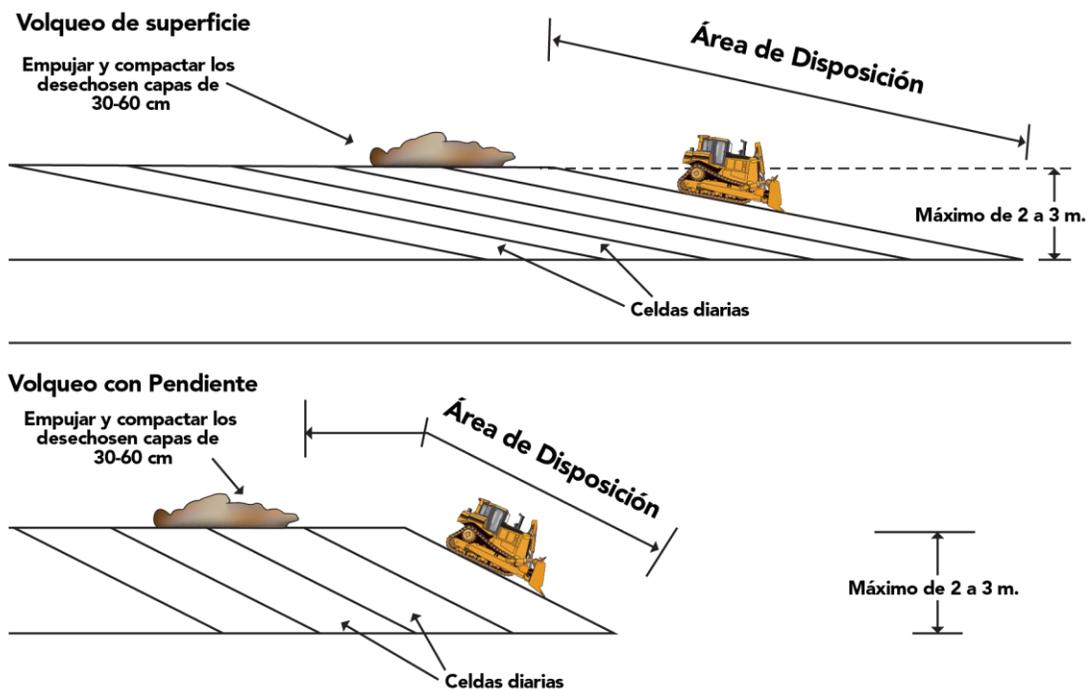
Actualmente, no existe un frente de trabajo definido a donde los camiones que traen desechos son dirigidos para descargar en cualquier día. Esto conduce a una ineficiencia en el uso del espacio existente, causa problemas con el agua superficial y con el drenaje de lixiviados, tiene como resultado también la desorganización entre los buzos e incrementa los riesgos de seguridad (vehículos desorganizados, movimientos de personal) dentro del Sitio.



4.2.2 Mejor Práctica: Establecer un Frente de Trabajo

Es sumamente importante establecer un frente de trabajo apropiado (o área de vertido) en conjunto con un plan de relleno para extender la vida operativa del relleno sanitario. Como se puede ver a continuación, un frente de trabajo definido limita que los desechos entrantes sean colocados (o vertidos) en un área lo más pequeña posible. Usualmente, el movimiento de los desechos está confinado a esparcir los desechos sobre el frente de trabajo con un compactador o una excavadora de oruga, después de que las cargas son depositadas por camiones.

Los desechos son descargados de manera aleatoria en cualquier lugar del Sitio.



Mejor Práctica: Frente de Trabajo apropiado y secuencia del relleno de desechos.

Usualmente el frente de trabajo representa el área de disposición de los desechos de un solo día. Al final de cada día el frente de trabajo deberá estar cubierto por una capa de tierra (como un grosor mínimo de 0.15 m) y para el siguiente día, se establece un frente de trabajo adyacente. Es sumamente importante tener la disponibilidad de tierra obtenida localmente, u otro tipo de materiales de cobertura debido a las grandes cantidades necesarias en las operaciones de los rellenos sanitarios. Aplicar la tierra sobre el frente de trabajo a diario o cada dos días, reduce vectores que son portadores de enfermedades (por ejemplo, moscas y mosquitos), animales como pájaros y roedores, olores e incendios, que actualmente son bastante comunes en el Sitio.

Se debería establecerse un área definida como el frente de trabajo cada día, con un camino de acceso nivelado, con inclinación adecuada para proporcionar drenaje adecuado y áreas definidas de vertido y de reciclaje para los buzos (principalmente para evitar lesiones causadas por equipos). Un compactador o excavadora de oruga empuja los desechos hacia el frente cuando los desechos son depositados al pie del frente de trabajo, en una capa más delgada, usualmente con una profundidad menor de 0.60 m. El frente de trabajo deberá ser compactado buscando minimizar la pendiente (~ 20–30%) que afecta la compactación de los desechos. En la medida en que aumenta la pendiente, se disminuye la presión de la compactación vertical; mientras más baja la pendiente, mayor la compactación.

Los problemas de climas húmedos son una preocupación muy grande en el Sitio, ya que los suelos se vuelven lodos y resbalosos. Deberán tomarse las medidas necesarias para continuar las operaciones en áreas menos susceptibles a problemas durante mal clima. Desviar las aguas pluviales del frente de trabajo y caminos reducirían los problemas.

4.3 Mejorando las Operaciones Actuales (Relleno, Nivelación y Compactación)

4.3.1 Práctica Actual: Equipo

Las buenas operaciones de un relleno sanitario dependen de un equipo adecuado con un buen mantenimiento, para:

- Extender los desechos después de verterlos
- Compactar los desechos
- Extender y compactar la cobertura diaria o intermedia
- Mover la tierra u otros materiales
- Construir y darles mantenimiento a los caminos

Actualmente solo cuentan con un buldócer como equipo del relleno sanitario, lo que reduce severamente la eficiencia de las operaciones del relleno sanitario. Si este equipo se descompone, no hay otro equipo de respaldo para tomar su lugar. Además, este equipo no está diseñado para excavar o transportar/cargar la tierra de cobertura. Se observó que otros equipos que estaban en el Sitio estaban inservibles.



Solo un buldozer operando actualmente en el Sitio.

4.3.2 Mejor Práctica: Establecer las Operaciones del Equipo y Plan de Mantenimiento

Idealmente se debería de considerar un segundo buldócer en combinación con un cargador frontal de ruedas. Un cargador frontal de ruedas puede excavar, levantar y llevar material como tierra de cubierta (se carga en un camión de volquete) que es algo que una cargadora de oruga no puede hacer. Una segunda excavadora de oruga también permitiría que la excavadora actual reciba mantenimiento de rutina y permitir mayor versatilidad en términos de mantener el frente de trabajo.



Mejor Práctica: Cargador frontal agrega versatilidad para mejorar las operaciones.

El equipo más efectivo y versátil es la compactadora del relleno sanitario. Las compactadoras están diseñadas para empujar, triturar y compactar los desechos (con gran eficiencia) en ambientes difíciles. Los compactadores pueden alcanzar un alto grado de compactación que ayuda a extender la vida operativa del relleno sanitario (permitiendo la colocación adicional de desechos sin reducir la capacidad de disposición).



Mejor Práctica: Compactador diseñado para extender y compactar los desechos.

Los equipos que están inservibles deberían ser evaluados para determinar si se pueden realizar reparaciones que sean costo-efectivas para restablecer las operaciones. La reparación de los equipos puede ser más económica que comprar equipos nuevos. La mejor forma de evitar reparaciones costosas es desarrollar y seguir un plan de mantenimiento y servicio para los equipos. Por lo menos un empleado debería ser capacitado para darle mantenimiento de rutina al equipo, siguiendo el plan de servicio del fabricante.

Se debería de evaluar la compra de un compactador para relleno sanitario y un cargador de ruedas. No es eficiente operar un relleno sanitario con el buldócer actualmente en uso, ya que aumenta el costo de las operaciones del relleno sanitario y reduce la vida útil del Sitio.

4.4 Estableciendo Procedimientos de Gestión de Registros

4.4.1 Práctica Actual: Procedimientos de Gestión de Registros

Actualmente no existe un área definida para el registro, documentación o pesado de los camiones que llevan desechos al Sitio. El cálculo del volumen y/o peso recibido se hace a través de una estimación por observación y cuantificación de camiones entrantes en un día determinado. Es muy importante tener un registro de los desechos vertidos en el Sitio para entender cuanta basura está siendo aceptada (a diario, mensualmente, anualmente) y el impacto sobre la capacidad de diseño del Sitio. La forma más exacta para determinar la capacidad de vida útil del Sitio es de los registros de disposición de desechos.

4.4.2 Mejor Práctica: Establecer Procedimientos de Gestión de Registros

Una oficina en tráiler móvil o estructura de control debería estar ubicada en la entrada, posicionada de tal manera que todos los camiones entrantes deben pasar a la par de ella (por ejemplo, una estación de

pesaje). Por cada camión que entra, se deberá recolectar información que incluya la fecha, hora, compañía transportadora, origen de los desechos, y contenido de los desechos (ya sea residencial, comercial, industrial, agrícola, especial). Los recibos de papel deberán guardarse en un archivo que documente todos los desechos entrantes. Se deberán de tomar medidas para asegurar que únicamente los transportistas autorizados lleven desechos al Sitio.



Mejor Práctica: Estación de pesaje para pesar los vehículos recolectores entrantes y salientes y guardar registros.



Mejor Práctica: Registrar el peso de los camiones recolectores entrantes. Una computadora permite un mejor registro de datos (almacenamiento de datos, análisis).

4.5 Gestión de las Aguas Superficiales

4.5.1 Práctica Actual: Gestión de Aguas Superficiales

De acuerdo con las siguientes imágenes, el Sitio está ubicado en un área en generalmente inclinada y está dividida por un área natural de escorrentía que lleva el agua a través de los desechos. Tanto desechos, como lixiviados entran en esta área natural de escorrentía desde el sitio de vertidos. (Usualmente los lixiviados contienen sustancias ambientalmente dañinas que son disueltas o arrastradas que podrían entrar al medio ambiente, por ejemplo, contaminando el agua superficial como ríos o lagunas).



El Sitio se ubica en un valle.



Área natural de escurrimiento a través del Sitio.



El área natural de escorrentía lleva a los lixiviados fuera del sitio.



Los lixiviados del área natural de escorrentía entrando al Arroyo Najayo.

4.5.2 Mejor Práctica: Controlando las Aguas Superficiales

Los escurrimientos de aguas de lluvia pueden conducir a erosión, empozamiento del agua (que puede crear áreas de crianza de zancudos) y rutas para la migración de los lixiviados. Para mitigar estos efectos, se deberían de instalar sistemas de control de drenaje tanto dentro como a lo largo del perímetro del área de disposición existente. Pueden ser zanjas sencillas diseñadas para tener una inclinación y desviar las aguas superficiales fuera del Sitio. El trayecto del sistema de drenaje debería de transportar las aguas superficiales a las velocidades adecuadas para evitar el estancamiento o deposición, pero no causar deterioro.

Los escurrimientos de aguas de lluvia deberán ser desviados a estanques que podrían retener lixiviados. Existen varios estanques a lo largo del Sitio, incluyendo uno en el extreme sur del Sitio, adyacente al Arroyo Najayo. El estanque que está adyacente al Arroyo Najayo deberá ser excavado para incrementar su capacidad almacenamiento. Si fuera posible, se debería de instalar un sistema de aireación en dicho estanque para disminuir el nivel de contaminación en los lixiviados, antes de su descarga.

En el diseño del relleno sanitario propuesto, se debería de trasladar el agua corriente y de escorrentía alrededor del Sitio. Sin embargo, el arroyo actual deberá ser ensanchado, limpiado y armado para evitar la erosión y reducir la escorrentía de lixiviados del Sitio hacia el Arroyo Najayo.



Mejor Práctica: Control adecuado de aguas pluviales minimizan la erosión.



Estanque de retención de lixiviados existente.



Mejor Práctica: Recolección y aireación de los lixiviados.

4.6 Control de Incendios

4.6.1 Práctica Actual: Incendios a Cielo Abierto y Subterráneos

Incendios a cielo abierto son comunes en el Sitio. Los buzos encienden los desechos para quemar los materiales y poder tener acceso a los reciclables. La quema de estos materiales es una preocupación grande de salud pública para los buzos y comunidades aledañas. El equipo asistió una reunión comunitaria durante la cual se plantearon inquietudes sobre el asunto. Se han vinculado el vértigo, asma, tos, infecciones de la piel, artritis e infecciones del tracto urinario y riñones con el humo que proviene de los incendios a cielo abierto. Los incendios también incrementan el riesgo de incendios a mayor escala, que podrían iniciar cuando las cenizas/brasas soplan hacia los desechos adyacentes.

Los incendios subterráneos son difíciles de manejar en la medida en que el fuego dentro de la masa de residuos se enciende y continúa quemándose y se desplaza hacia el subsuelo. Existen varios peligros provenientes de los incendios subterráneos, tales como un derrumbe del suelo (los buzos y trabajadores puede caerse a través de las cavidades y lesionarse o sufrir quemaduras) y la contaminación del aire. Los incendios subterráneos también consumen materiales orgánicos que pueden contribuir a una menor generación del biogás (los orgánicos descompuestos principalmente contribuyen a la formación de biogás); Si los pozos o respiraderos biogás están presentes, se pueden derretir y resulten inoperables.

4.6.2 Mejor Práctica: Controlando Incendios a Cielo Abierto

Debido a que se han practicado los incendios por tanto tiempo en el Sitio, es absolutamente esencial extinguir completamente cualquier cobertura o nivelación. Donde la quema está relativamente poco profunda, los desechos en el área afectada se

esparcen para permitir una completa combustión, y después de eso se puede aplicar agua. También se puede aplicar arena o materiales limosos en lugar de aplicar agua. En el caso de que los incendios estén muy profundos, tal vez sea necesario aislar el área quemada excavando zanjas alrededor de esa área. De allí se esparcen los desechos o se agita con regularidad para permitir una completa combustión. Las cenizas que se producen posteriormente son ahogadas con arena o tierra. Todos los buzos deberían saber que no se permite la quema de desechos y que aquellas personas que inicien algún incendio se le prohibirán volver a entrar al Sitio.

4.7 Sector Informal de Reciclaje

4.7.1 Práctica Actual: Recolectores Informales de Desechos

De acuerdo con el personal del Sitio, hay aproximadamente 75 buzos activos en el Sitio en cualquier día. Los buzos están expuestos a una serie de problemas de salud pública tales como enfermedades y exposición a la contaminación del aire (resultando de la quema a cielo abierto de los desechos), lesiones causadas por trabajar en los desechos sin usar ningún tipo de equipo de protección (hay objetos cortopunzantes, agujas, caídas) y ser golpeados por vehículos. No hay instalaciones sanitarias (inodoros, duchas, agua potable). Hay una exposición diaria a la radiación solar, viento y altas temperaturas. Muchas veces los buzos no solo viven de la basura, sino que viven en la basura, en condiciones peligrosas, especialmente para los niños.



Los desechos ardiendo son comunes en el Sitio.



Mejor Práctica: Retro-excavadora volcando desechos en combinación con la aplicación de agua.

4.7.2 Mejor Práctica: Formalizando al Sector Informal

Para mejorar las operaciones de los rellenos sanitarios, condiciones de trabajo y seguridad para los recolectores, como mínimo se deberán de seguir las siguientes mejores prácticas:

- Todos los buzos deberán estar registrados para contabilizar a cada persona que trabaja en el Sitio.
- Se deberá de controlar la entrada y salida de todos buzos de manera diaria y en un lugar específico, preferiblemente la oficina móvil o edificio de control.
- Se deberá de proveer capacitación para crear consciencia sobre la seguridad e higiene básica para todas las personas que ingresen al Sitio.
- No se deberá permitir la entrada de los recolectores de desechos en el área de disposición activa.
- Las cargas con desechos que se sabe traen reciclables deberán ser vertidos en un área designada adonde los recolectores pueden separar la basura para sacarlos.
- No se debería permitir la entrada a niños al Sitio. Todos los buzos deberán ser informados que no se permitirán fuegos en el Sitio.
- Se deberá de proveer un botiquín y capacitación básica sobre cómo usarlo a todos los buzos y al personal del Sitio.
- Los recolectores de desechos deberán de considerar el establecimiento de una cooperativa u organización para auto educarse en áreas como higiene, seguridad y prácticas para la separación de desechos. Existen muchos ejemplos de recolectores de desechos que se han formalizado exitosamente para mejorar sus medios de vida y mejorar las operaciones de los rellenos sanitarios. Para más ideas sobre la formalización del sector informal, existen una cantidad de recursos disponibles que cubren programas económicos y de fácil mantenimiento que están mejorando las vidas y circunstancias socioeconómicas.
- El Apéndice A contiene una lista de recursos adicionales para recolectores de desechos.



Los recolectores de desechos separando reciclables en el Sitio.



Mejor Práctica: Los buzos recibiendo capacitación sobre salud y seguridad.

4.8 Monitoreo y Mantenimiento

4.8.1 Práctica Actual: Basura Voladora

Es común ver en el Sitio la evidencia de basura volada por el viento. Esta basura puede entrar en las propiedades de los vecinos o en las vías fluviales locales.

4.8.2 Mejor Práctica: Establecer un Programa de Monitoreo y Mantenimiento

Se deberá de conducir una caminata diaria alrededor del perímetro para limpiar la basura de las cercas y en áreas que son propensas a basura que vuela. La caminata alrededor del perímetro deberá asegurar que la cerca esté intacta, además de identificar áreas a donde sopla la basura, e identificar incendios o el escape de lixiviados del Sitio.



Basura fuera del Sitio.

Los desechos también deberán eliminarse semanalmente, del camino de acceso principal. Los desechos podrían ser recolectados y colocados en un camión para ser transportados a un área de disposición activa o embolsada para ser transportados al área de disposición activa. Ver la Sección 6.7 para mayores detalles sobre el monitoreo.

Adicionalmente, el estanque de contención ubicado en el extremo sur del Sitio deberá ser visitado diariamente para asegurar que está conteniendo el lixiviado contaminado fluyendo del área activa de disposición de desechos. Los incendios deberán ser identificados lo más pronto posible y extinguidos.

5.0 Plan de Conversión y Expansión del Relleno Sanitario

El plan de conversión/expansión para convertir el vertedero a un relleno sanitario, tiene dos partes principales:

- Diseño y construcción de celdas en 9.2 ha dedicado a la disposición de RS.
- Reubicación de desechos colocados en aproximadamente 8.2 ha de la propiedad.

Para desarrollar el plan de conversión/expansión, inicialmente fue necesario:

- Determinar cuáles eran los permisos ambientales regulatorios requeridos y/o autorizaciones necesarias.
- Realizar una caracterización del Sitio.
- Desarrollar un diseño conceptual y secuencia de la construcción del relleno sanitario.
- Determinar las bases para la gestión de lixiviados y biogás.

Las siguientes secciones describen estos componentes.

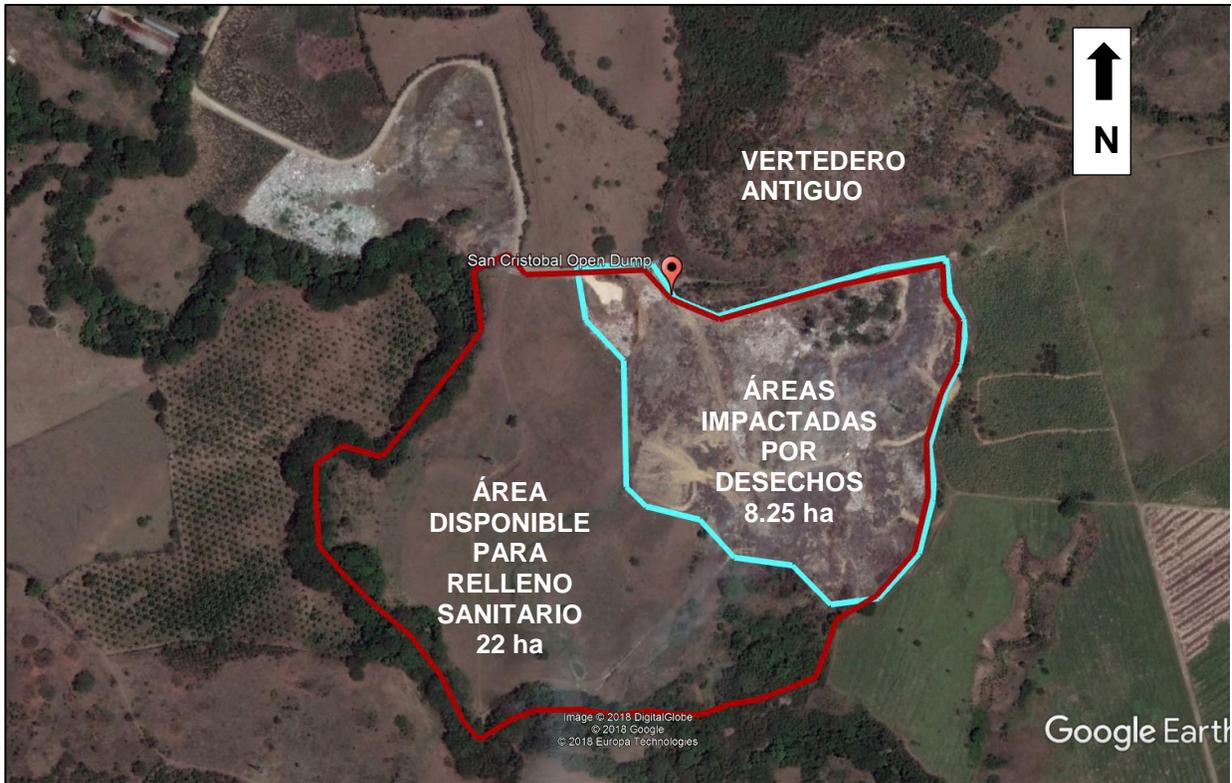


Figura 1. Plano del Sitio Mostrando el Área Impactada por Desechos y el Área Disponible

La Figura 1 muestra el área impactada por desechos y el área total disponible para el relleno sanitario propuesto. El área total para el relleno sanitario propuesto está compuesta de parcelas 478-A (14.1 ha) y 478-B, 478-C y 478-D (5.8 ha en total). El área está rodeada en el norte por tierras agrícolas y el área de vertedero existente, en el oeste y el sur por el Arroyo Najayo, y en el este por una cañada natural.

5.1 Regulaciones Aplicables

El equipo investigó y analizó las regulaciones ambientales actuales.² Se pudo determinar que las regulaciones ambientales aplicables para permisos, emplazamientos, construcción, operación, y cuidados de cierre y post-cierre de un relleno sanitario son los siguientes:

- **Ley 64-00, Capítulo IV, Artículo 38, 41, 15.** Ley para la conservación, protección, mejora y restauración sostenible del medio ambiente y recursos naturales.
- **Ley 176-07, Título II, Capítulo I, Artículo 19.** Ley que designa que el ayuntamiento ejercerá como propias o exclusivas la competencia en el asunto de servicios de limpieza y ornato público, recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.
- **Reglamento del Proceso de Evaluación Ambiental 09-2014.** Reglamento para el proceso de autorización ambiental establecidos bajo la Ley 64-00, para prevenir, controlar y mitigar posibles impactos ambientales y de recursos naturales causados por la construcción, proyectos o actividades.

² La información y los datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales fueron solicitados y proporcionados por la Coordinadora de Residuos Sólidos Yvelisse Pérez del Departamento de Desechos Sólidos.

- **Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos 06-2003.** Norma para la protección de la salud humana y de la calidad de vida de la población y para promover la preservación y protección del medio ambiente mediante el establecimiento de normas para desechos sólidos municipales no-peligrosos. Esta regla provee requerimientos para el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, así como requisitos generales para la reducción, reutilización y reciclaje.

5.1.1 Procesos de Permisos

El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales es la entidad que está a cargo del proceso de permisos ambientales. De acuerdo con la Reglamento del Proceso de Evaluación Ambiental 09-2014, este proyecto es considerado como un proyecto de “Categoría A” y requiere una Licencia Ambiental.

El proceso de permisos tiene los siguientes pasos:

1. La información requerida para el envío inicial se encuentra en el sitio web del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, “Autorizaciones Ambientales”, sección (<http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2016/10/Formulario-%C3%BAnico-de-Registro-proyecto-obra-o-actividad-Res.-11-2016-1-1.docx>; también ver el Anexo A). Se deberá de enviar el cuestionario en original y una copia en una carpeta de 8 ½” x 11” que incluye la documentación requerida. El envío deberá ser enviado al edificio principal del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales a la Dirección de Servicios de Autorizaciones Ambientales.
2. El Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales emite los términos y especificaciones para preparar el Programa de Gestión y Adaptación Ambiental y una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). El EIA deberá ser realizado por un consultor aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ver <http://ambiente.gob.do/wp-content/uploads/2017/04/ListadodeGestores.pdf> para obtener una lista de los consultores aprobados por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
3. En cuanto se haya enviado el EIA y éste cumple con todos los términos y especificaciones, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales tiene hasta 190 días para revisar y aprobar o denegar la Autorización Ambiental. Notarse que el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales determina el costo asociado con el Permiso Ambiental, dependiendo del impacto ambiental del proyecto.
4. El proyecto también requiere de una fianza por 10% del costo total de la construcción física o inversión necesaria para implementar el programa de gestión y adaptación ambiental.
5. La Autorización Ambiental necesita ser revisada a los 3 - 5 años, con la renovación a los 7 - 10 años. Si el Permiso Ambiental corresponda a una Declaración de Impacto o una Licencia Ambiental, después del año 15, y la revisión se requiere hasta 10 años, asumiendo que todos los requisitos están siendo cumplidos, y no se viole lo establecido.

5.1.2 Otros Requisitos Ambientales Relevantes

Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos No Peligrosos 06-2003 provee los siguientes requisitos para la ubicación, diseño, construcción y operación de un relleno sanitario:

- 6.1.7: Conducir un Estudio de Evaluación Ambiental de acuerdo con la Ley 64-00 Artículo 38.
- 6.1.11: Distancias mínimas con aeropuertos o asentamientos humanos:
 - 3,000 m de un aeropuerto con aviones con motor de turbinas.
 - 1,500 m de un aeropuerto con aviones de motor de pistones.
 - 1,500 m de cualquier asentamiento humano o demostrar que ellos no serían afectados.
 - Distancias apropiadas para impedir accidentes con torres eléctricas, oleoductos, tuberías de agua, carreteras, etc.

- 6.2.1: Los rellenos sanitarios no deberán estar ubicados en zonas de retorno de inundaciones de 100 años o que puedan demostrar que no afectaría el flujo en tal área.
- 6.2.2: No deberá estar ubicado en humedales, pantanos, arroyos, ríos o algo similar.
- 6.2.3: 1,000 m de las aguas superficiales con flujo continuo; incluye una zona contención para retener la precipitación máxima en los últimos 10 años.
- 6.3.1: 100 m de los pozos usados para consumo humano (doméstico, industrial, irrigación o animal)
- 6.3.2: 60 m de una falla geológica.
- 6.3.3: Lejos de cualquier pendiente inestable.
- 6.3.4: Lejos de áreas con asentamientos diferenciales.
- 6.4.1: Requiere de lo siguiente:
 - Control y monitoreo de la escorrentía de las aguas pluviales.
 - Control y monitoreo de aguas superficiales o subterráneas.
 - Control y monitoreo de lixiviados.
 - Tratamiento de agua o lixiviados que cumplen con las regulaciones de descargas de agua.
- 6.4.2: Control de acumulación y emisiones de gas.
- 6.4.3: Control, tratamiento y uso de gas para producir energía.
- 6.4.5: Reducir al máximo cualquier riesgo o molestias, tales como:
 - Olores y polvo.
 - Basura que vuela.
 - Ruido y tráfico.
 - Pájaros, parásitos e insectos.
 - Formación de aerosoles.
- 6.4.6: Para prevenir los riesgos de incendios, se deberán cubrir los desechos diariamente.
- 6.4.7: Establecer un plan de prevención de emergencia por incendios.
- 6.4.8: Colocar los desechos para garantizar la estabilidad.
- 6.4.9: Limitar el acceso al Sitio.
- 6.4.13: Tener un plan de clausura.

5.2 Caracterización del Sitio

El Sitio se encuentra dentro de los límites de la Municipalidad, aproximadamente a 8 km al sur este del centro de la Municipalidad en el sector Doña Ana, el área cubierta por desechos es de aproximadamente 8.25 ha. El relleno sanitario propuesto estaría ubicado en 22 ha, actualmente la propiedad es de, o está siendo adquirida por la Municipalidad.

El área se encuentra cerca de la costa del Mar Caribe, con una topografía montañosa en la medida en que se procede hacia el interior hacia cordillera central. El clima en San Cristóbal es tropical, con un máximo de temperaturas promedio de aproximadamente 32.4 °C y un mínimo de temperatura promedio de 19 °C. La precipitación anual es de 1,600 mm, con menor cantidad de precipitaciones desde noviembre hasta abril y mayor cantidad de precipitaciones de mayo a octubre.

Para diseñar un relleno sanitario es importante determinar la cantidad de desechos en el lugar, los tipos de sólidos que están presentes en el subsuelo, los cuerpos de agua en las proximidades, el nivel freático y la dirección de flujo del agua subterránea. Las subsecciones que se encuentran a continuación describen esas propiedades del Sitio.

5.2.1 Estimación de Desechos Existentes

La estimación de desechos existentes está basada en 3 informes provistos por la Municipalidad:

- Durante una visita en febrero de 2018, se estimó que los desechos existentes eran 1.2 millones de toneladas.
- Un estudio realizado por la Coalición de Clima y Aire Limpio (CCAC) reportó la cantidad de desechos dispuestos en 2016, en base a la tasa de generación per cápita de 1.10 kg/día y una población de casi 250,000 personas. La tasa promedio diaria de disposición es de 210 Mg/día.
- De marzo 5 al 18 de 2018, se realizó una encuesta acerca de la entrada de desechos, estimando una tasa diaria promedio de disposición de 200 Mg/día.

El tercer informe (estimando un promedio de 200 Mg/día) se consideró como el valor más confiable y se usó para calcular los desechos en su lugar.

Además, se realizó una revisión de imágenes aéreas históricas (de Google) para el Sitio. Estas imágenes muestran que los desechos comenzaron a ser colocados en el Sitio aproximadamente en junio de 2014. Tomando en cuenta esos datos y las tasa promedio de 200 Mg/día, se calculó un aproximado de 403,000 Mg desechos existentes. La Tabla 1 presenta las tasas de aceptación de desechos estimada hasta el 2019. Las estimaciones asumieron que la implementación del proyecto ocurriría en 2019, y la disposición en el relleno sanitario propuesto iniciaría a principios de 2020.

Tabla 1. Historial de la Disposición de Desechos Estimada

Año	Anual (Mg)	Desechos Acumulados (Mg)	Comentarios
2014	36,500	36,500	Disposición inició en junio 2014
2015	73,000	109,500	Se asume tasa de disposición en 200 Mg/día
2016	73,000	182,500	Se asume tasa de disposición en 200 Mg/día
2017	73,000	255,500	Se asume tasa de disposición en 200 Mg/día
2018	73,000	328,500	Se asume tasa de disposición en 200 Mg/día
2019	74,460	402,960	Se asume 4% de incremento en disposición anual

Nota: Este cálculo es consistente con el cálculo de disposición de desechos diarios que se encuentra en el Informe CCAC.

5.2.2 Exploración del Subsuelo

Se investigó el subsuelo del Sitio para establecer sus propiedades físicas y de ingeniería y el nivel freático. Battelle contrató servicios de perforación, muestreo y pruebas geotécnicas de laboratorio con HCSA, quien realizó las actividades de perforación y de campo bajo la supervisión de SCS Engineers entre el 4 y el 15 de junio, 2018. Las actividades de campo incluyeron:

- Perforación de 14 sondeos de barreno hueco (SB-01 hasta SB-14) a diferentes profundidades a la vez que realizaron ensayos de penetración estándar (SPTs) a intervalos de 1.5 m de profundidad; la recolección de muestras inalteradas a diferentes profundidades de perforación usando una muestra de tubo partido para la clasificación visual del material y pruebas de laboratorio.

- Instalación de 6 piezómetros de columnas ascendentes para la medición del nivel freático de aguas subterráneas y pruebas de capacidad hidráulica.
- Excavación de 14 sondeos de ensayo a 2.4–3.0 m por debajo de la superficie terrestre para recolectar muestras a granel para pruebas de laboratorio.
- La conducción de pruebas de laboratorio en muestras de perforaciones selectas y a granel para caracterizar los materiales del subsuelo. Las pruebas geotécnicas de laboratorio incluyeron:
 - Tamaño del grano con hidrómetro (ASTM D 422 y D 1140).
 - Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) clasificación de suelos (ASTM D 6913).
 - Humedad natural (ASTM D 2216).
 - Relación de humedad de la densidad y Proctor estándar (ASTM D 698).
 - Límites Atterberg (ASTM D 4318).
 - Conductividad hidráulica de pared flexible—muestra remodelada (ASTM D 5084).
 - Triaxial consolidado sin drenaje (ASTM D4767).
- Instalación de piezómetros para las mediciones del nivel freático de agua subterránea.
- La realización de pruebas de capacidad hidráulica en situ (ASTM D 4044) para los 6 piezómetros instalados.

Las ubicaciones de los 14 sondeos (SB-01 al SB-14) y 6 piezómetros (SB-01, 03, 05, 09, 12 y 14) se encuentran presentadas en la Figura 2 (ver Tabla 1 en el Apéndice B para los detalles sobre cada sondeo y cada piezómetro). Estas ubicaciones, junto con protocolos de perforación, muestreo y pruebas de laboratorio, se establecieron para ser representativas de las condiciones del subsuelo. La documentación y resultados los sondeos, muestreo y pruebas de laboratorio presentados por HCSA se encuentran incluidos dentro del Informe Geotécnico (Ver Apéndice B).

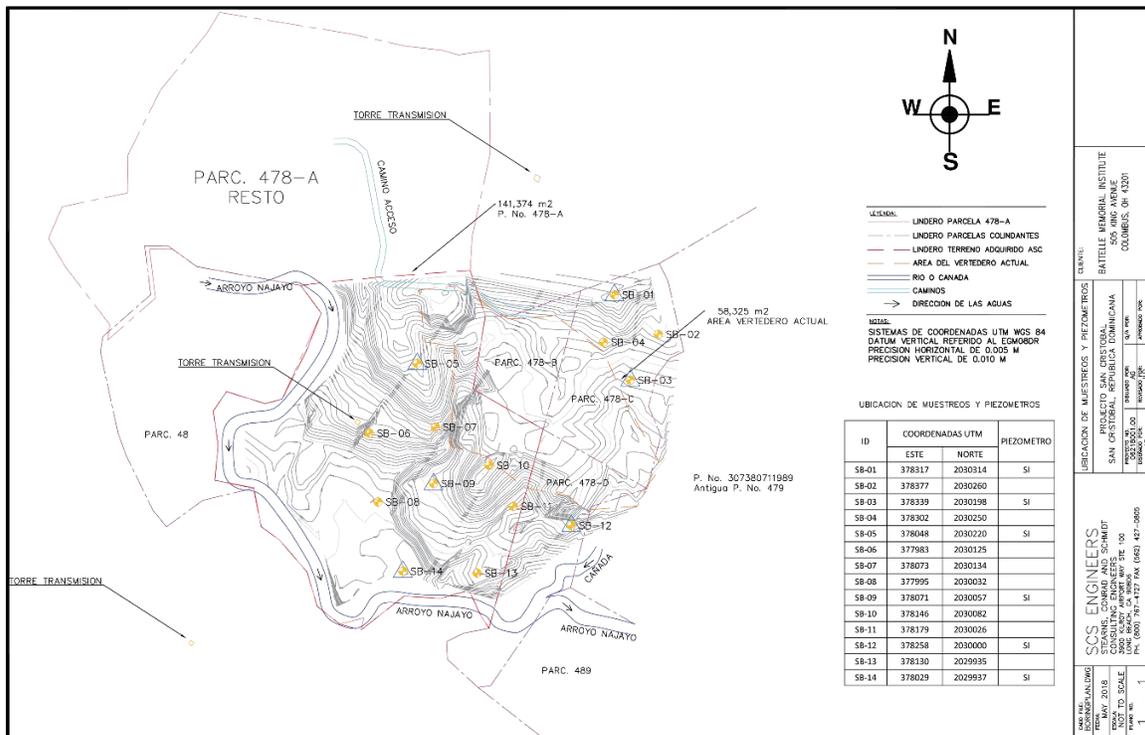


Figura 2. Ubicación de los Sondeos.

Los sondeos y pruebas de laboratorio mostraron que el subsuelo está compuesto de las siguientes capas:

- Capa vegetal.
- Arcilla/arena.
- Pizarra.

La Tabla 2 resume los resultados promedio de las pruebas de laboratorio sobre las muestras de suelo que se encuentran en el área del proyecto.

Tabla 2. Resumen de Las Pruebas de Laboratorio

Material	USCS	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	PL (%)	LL (%)	PI (%)	Densidad Max (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)	Humedad Natural (%)
Arcilla grasa – alta plasticidad	CH	1.5	12.2	1	7	92	27	57	31	1,832	14	21
Arcilla – baja plasticidad	CL	1.5	7.6	1	21	78	21	41	20	1,962	10	20
Grava arcillosa	GC	1.5	7.6	48	26	27	27	22	45	2,056	10	15
Pizarra	CH	9.1	24.4	1	6	94	94	27	60	1,861	14	17
Arena limosa	SM	1.5	7.6	0	67	33	33	23	29	-	-	-

La Tabla 3 resume las pruebas de compactación de Proctor modificado sobre la arcilla y suelos de pizarra.

Tabla 3. Resumen de Las Pruebas de Compactación

Material	USCS	Perforación No.	Prof. (m)	Densidad Max (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)
Pizarra	CH	SB-10	12.2	1,861	14.1
Arcilla magra con arena	CL	SB-01	1.8	1,920	10.5
Arcilla grasa	CH	SB-04	2.1	1,815	15.6
Arcilla grasa	CH	SB-05	3.0	1,861	16.0
Arcilla grasa	CH	SB-06	2.4	1,806	16.1
Arcilla magra con arena	CL	SB-08	1.5	1,989	10.2
Arcilla grasa	CH	SB-09	2.4	1,845	9.9
Arcilla magra	CL	SB-12	2.4	1,977	8.8
Grava arcillosa	GC	SB-14	1.5	2,056	10.0

La Tabla 4 resume las pruebas de conductividad hidráulica sobre la arcilla y suelos de pizarra.

Tabla 4. Resumen de los Resultados de Conductividad Hidráulica

Material	USCS	Perforación No.	Prof. (m)	Densidad Max (kg/m ³)	Humedad Óptima (%)
Arcilla grasa	CH	SB-03	6.1	4.5x10 ⁻⁷	10
Pizarra	CH	SB-05	15.2	7.8x10 ⁻⁸	5
Arcilla grasa	CH	SB-07	6.1	7.3x10 ⁻⁷	10
Arcilla grasa	CH	SB-08	7.6	6.7x10 ⁻⁸	10
Arcilla grasa	CH	SB-12	7.6	8.9x10 ⁻⁸	10

La Tabla 5 resume las pruebas triaxiales consolidadas sin drenaje sobre la arcilla y suelos de pizarra.

Tabla 5. Resumen de los Resultados de Pruebas Triaxiales

Material	USCS	Perforación No.	Muestra	c' (kg/m ²)	f' (deg)
Arcilla grasa	CH	SB-03	SH-1	128.9	31.7
Pizarra	CH	SB-10	SH-1	512.7	34.8

La Tabla 6 resume las pruebas de bombeo sobre los piezómetros.

Tabla 6. Resumen de los Resultados de Pruebas de Bombeo

Piezómetro ID	K (cm/seg)
SB-01	1.13 × 10 ⁻⁰⁰⁶
SB-03	3.66 × 10 ⁻⁰⁰⁷
SB-05	2.33 × 10 ⁻⁰⁰⁷
SB-09	1.50 × 10 ⁻⁰⁰⁷
SB-12	1.40 × 10 ⁻⁰⁰⁷
SB-14	1.17 × 10 ⁻⁰⁰⁵

Se monitoreo el agua subterránea en los 6 piezómetros. La Tabla 7 resume las mediciones del monitoreo de las aguas subterráneas.

Tabla 7. Resumen de las Mediciones de Aguas Subterráneas

ID	Norte (m)	Este (m)	Elevación del Terreno (m)	Mediciones del Nivel de Aguas Subterránea en Los Piezómetros desde la Elevación del Terreno ⁽¹⁾					
				Jun-8 (m)	Jun-15 (m)	Jun-29 (m)	Jul-11 ⁽²⁾ (m)	Jul-27 (m)	Ago-10 (m)
SB-01	2,030,314	378,317	83.3	-	4.0	3.9	3.6	3.9	3.7
SB-03	2,030,199	378,348	74	-	2.6	2.04	2.10	2.1	2.9
SB-05	2,030,232	378,046	78	3.7	3.1	2.5	2.0	2.2	3.3
SB-09	2,030,047	378,077	67.8	-	18.6	7.4	7.4	7.4	7.6
SB-12	2,029,999	378,258	68.2	-	5.4	5.59	5.58	5.6	6.2
SB-14	2,029,947	378,018	59.5	3.2	3.2	3.1	3.1	2.8	2.8

(1) Piezómetros fueron instalados entre el junio 8–15, 2018.

(2) Día después de la tormenta.

La Figura 3 muestra una superficie potenciométrica interpolada de las mediciones de aguas subterráneas. La dirección general del flujo de las aguas subterráneas es norte a sur, oscilando desde elevación de 83 m en la esquina noroeste de la propiedad, a 50 m en la parte sur de la propiedad.

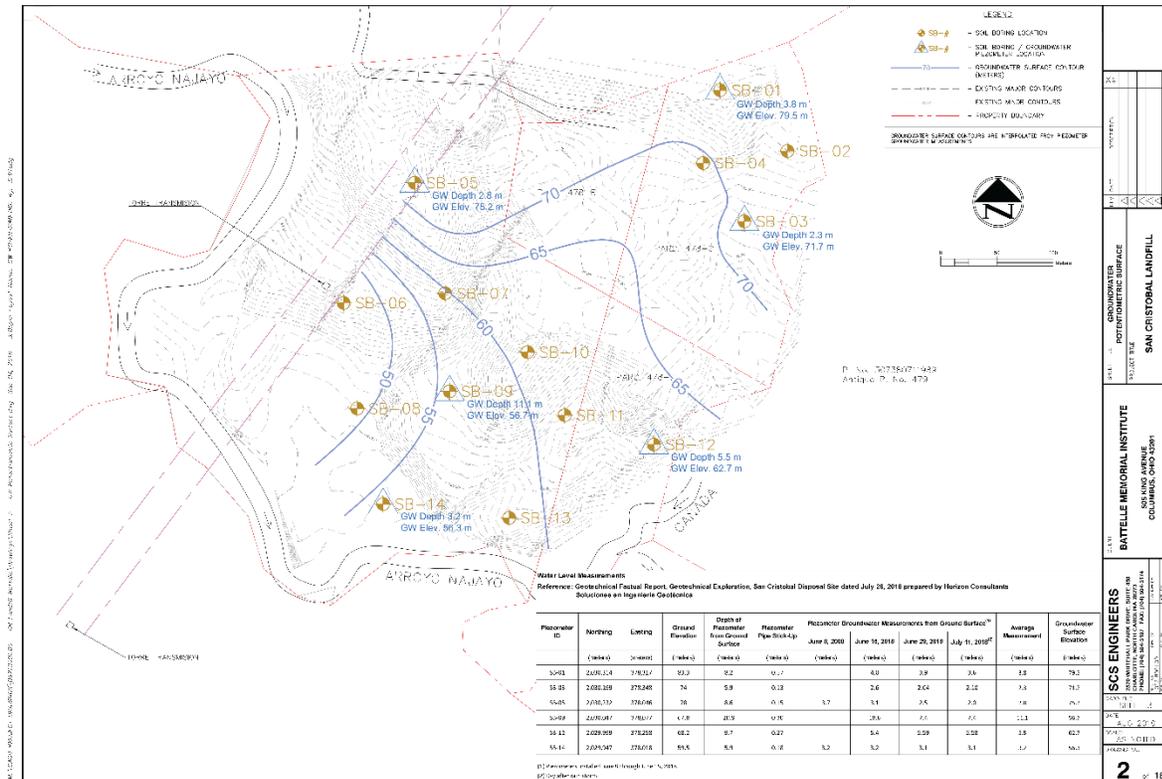


Figura 3. Mapa Potenciométrico de Aguas Subterráneas

5.3 Opciones de Expansión

Se determinaron los límites de desechos del relleno sanitario propuesto en base a los siguientes factores limitantes:

- 15 m de desplazamiento de las líneas eléctricas de alta tensión.
- 20 m de desplazamiento de los límites de la propiedad del Sitio.
- 20 m de desplazamiento del cauce del Arroyo Najayo.
- Fuera de las zonas inundables del Arroyo Najayo.

Después de aplicar los factores limitantes, el equipo determinó que aproximadamente 9.2 ha están disponibles para el desarrollo del relleno sanitario propuesto. El relleno sanitario propuesto se desarrollará en 5 celdas diferentes.

Para poder minimizar el costo de reubicación de los desechos existentes hacia el relleno sanitario propuesto, se ubicarían las primeras dos celdas en áreas con ningún o poco impacto de disposición de desechos. En la Figura 4 se pueden ver las Celdas 1 y 2 como las áreas de cero o poco impacto por desechos. Las Celdas 1 y 2 proveen 2.53 ha para la disposición de nuevos desechos entrantes y para la reubicación de desechos existentes.

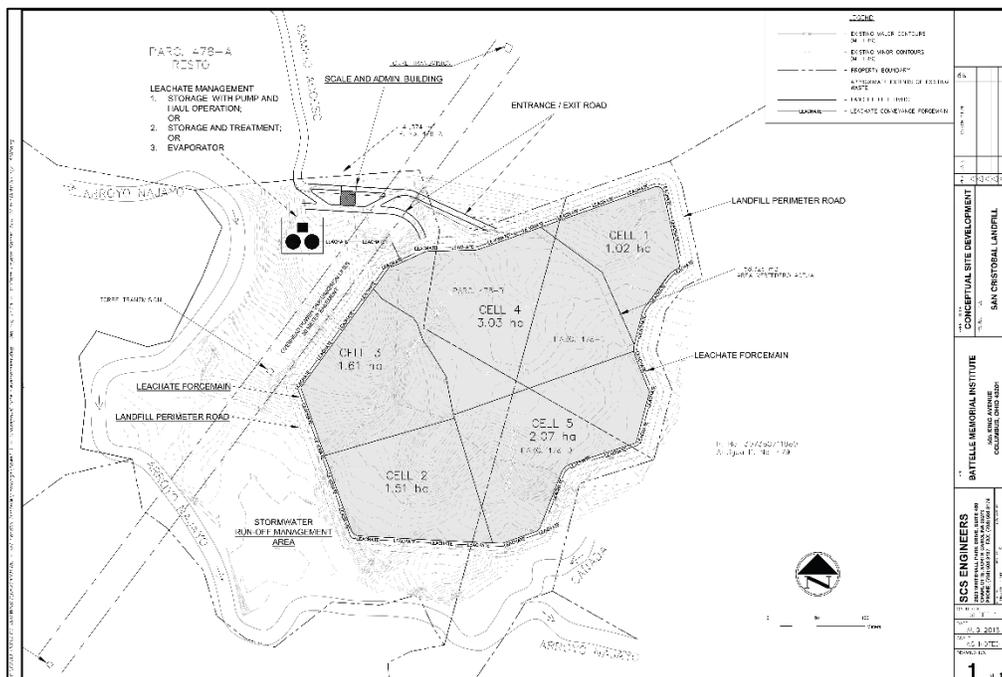


Figura 4. Distribución Conceptual de las Celdas del Relleno Sanitario Propuesto

5.4 Diseño Conceptual

El diseño conceptual es construir un relleno sanitario que cumpla con las necesidades actuales de disposición de desechos, así como con la reubicación de los desechos existentes del vertedero existente. Para contener los desechos se han diseñado sistemas de ingeniería para el recubrimiento inferior y la cobertura final. Ambos sistemas se pueden ver en las Figuras 5 y 6.

Adicionalmente otros sistemas propuestos para apoyar al relleno sanitario consisten de una estación de pesaje, un edificio administrativo, un punto de control en la entrada, calles perimetrales, estanque para almacenar agua pluvial, instalaciones para el almacenamiento de lixiviados y un sistema de gestión del relleno sanitario.

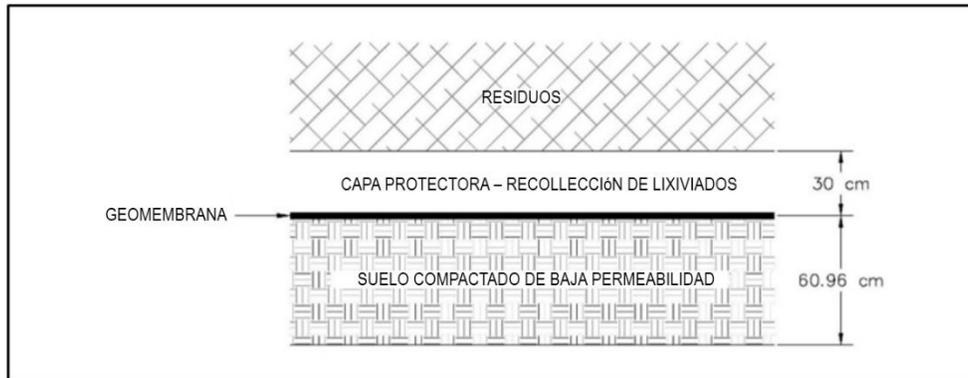


Figura 5. Sistema de Recubrimiento Inferior

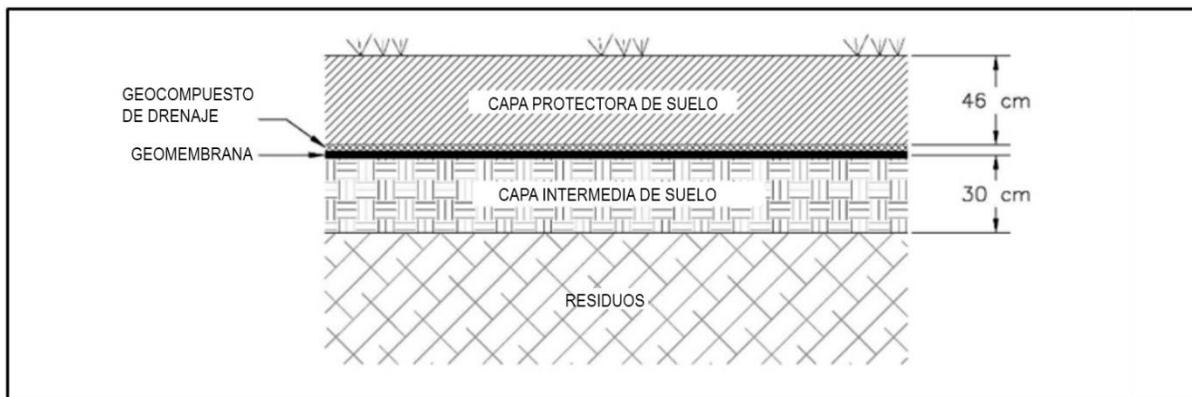
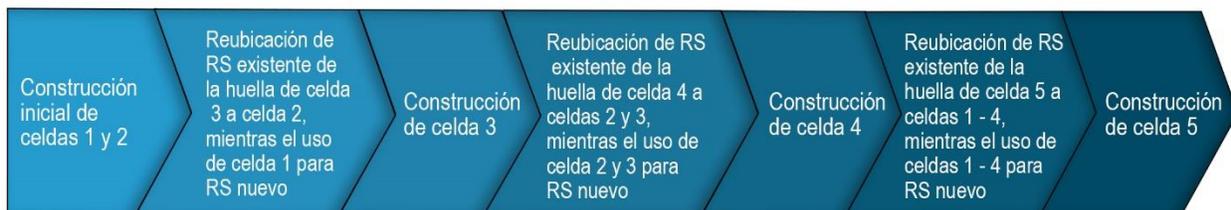


Figura 6. Sistema de Cobertura Final

5.5 Secuencia de Construcción

Como lo muestran los planos del diseño conceptual (ver el Apéndice C), el relleno sanitario propuesto está dividido en cinco celdas con un área combinada de aproximadamente 9.2 ha. Para construir las celdas del relleno sanitario propuesto, se necesitaría mover los desechos existentes por fases en lugar de moverlos todo a la misma vez. La construcción del relleno sanitario propuesto y secuencia de reubicación de desechos existentes será de la siguiente manera:



Esta secuencia dependerá de la duración de la construcción actual de la celda, así como de la cantidad y ritmo al cual se mueven los desechos existentes hacia las celdas construidas del relleno sanitario.

Como se indica en la Sección 5.2.1, los desechos existentes han sido calculados en 402,960 Mg. Se estima que la descomposición de desechos orgánicos ha reducido y seguirá reduciendo esta cantidad hasta Julio de 2020, en aproximadamente 41%, cuando inicie la transferencia hacia el relleno sanitario propuesto. La continua descomposición de los desechos orgánicos que esperan ser excavados y transferidos, reducirían la cantidad total depositada en el relleno sanitario propuesto para 2023 a 216,332 Mg (una 46% reducción de los desechos), cuando se estima que estaría completa la transferencia de todos los desechos que se encuentran en el vertedero existente. La Tabla 8 presenta el programa de desarrollo del relleno sanitario propuesto.

Tabla 8. Resumen del Desarrollo del Relleno Sanitario Propuesto

Celda ID	Área (ha)	Espacio Disponible (m ³)	Espacio Disponible ⁽¹⁾ (Mg)	Reubicación Estimada de Desechos Existentes ⁽¹⁾ (Mg)	Colocación de Nuevos Desechos	
					Inicio	Fin
1	1.02	54,911	39,097		Ene-20	Jul-20
2	1.51	97,985	69,765	34,883	Ago-20	Dic-20
3	1.61	177,963	126,710	63,355	Ene-21	Oct-21
4	3.03	421,324	299,983	118,095	Nov-22	Ene-24
5	2.07	557,694	397,078	0	Feb-24	Sept-28
Total	9.24	1,309,877	932,633	216,332		

(1) Se ha calculado que la mitad de la capacidad de las celdas sería usada para reubicar los desechos existentes, para proveer espacio para la disposición de nuevos desechos.

5.6 Transferencia de Desechos de Áreas sin Recubrimiento

La Celda 1 del relleno sanitario propuesto se usará para la disposición de desechos nuevos, mientras que la Celda 2 servirá para la reubicación de los desechos existentes para la construcción de la Celda 3. Las Celdas 3 y 4 del relleno sanitario servirían para la disposición de nuevos desechos entrantes y para la reubicación de los desechos existentes. Se estima que la transferencia de los desechos existentes finalizaría en el año 2023. La Celda 5 también serviría únicamente para la disposición de nuevos desechos entrantes. Se estima, basado en el año de implementación, el 2019, que cerca de 216,332 Mg necesitarían transferirse al propuesto relleno sanitario especialmente diseñado, durante varios años para permitir la recepción de nuevos desechos entrantes.

5.7 Gestión de Lixiviados

Los siguientes criterios proveen la base de la metodología y diseño conceptual para la recolección, almacenamiento y tratamiento de lixiviados para el relleno sanitario propuesto:

- El sistema de recolección de lixiviados (SRL) está diseñado para mantener menos de 30 cm de profundidad de lixiviados en sistema de recubrimiento inferior del relleno sanitario bajo condiciones normales de operación.
- Los nuevos tanques o estanques de almacenamiento de lixiviados pueden almacenar un volumen pico o promedio de lixiviados que son generados del relleno sanitario propuesto.
- Para mitigar la generación de lixiviados, se construirá el relleno sanitario propuesto en fases, en lugar de construirse todo desde el inicio. Las fases del relleno sanitario estarán separadas por una berma provisional.

- El lixiviado será tratado mediante el uso de una planta de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio.

El modelo de la EPA, Evaluación Hidrológica del Rendimiento del Relleno Sanitario (HELP) versión 3.07, fue utilizado para la evaluación de la propuesta recolección de lixiviados y sistema de gestión para un propuesto relleno sanitario especialmente diseñado. Se evaluaron los componentes usando suposiciones específicas que representaron un enfoque conservador usando eventos de tormentas y condiciones operativas que reflejan la generación de lixiviados promedio y pico.

5.8 Generación de Lixiviados

El cálculo de los índices promedio y pico de generación de lixiviados y su nivel máximo correspondiente de acumulación de lixiviados sobre el sistema de recubrimiento inferior del relleno sanitario se realiza mediante el uso del modelo HELP. El diseño del relleno sanitario propuesto fue evaluado para cuatro posibles diferentes condiciones para calcular la generación de lixiviados en condiciones de flujo promedio y pico. La primera, segunda y tercera condición fueron simulaciones usando 5, 15 y 29 m de desechos que se encuentran en el lugar. La cuarta condición es una simulación usando desechos que se encuentran en el lugar con un grosor de 29 m con el sistema de cobertura final. Para las simulaciones del modelo HELP, se usaron los datos de temperaturas y precipitaciones promedio similares a los de la Municipalidad, junto con una estimación de radiación y transpiración solar para modelar las condiciones climáticas para el Sitio.

Se hizo una simulación de cada una de las condiciones usando el modelo HELP, con las siguientes características físicas del relleno sanitario:

- 4.0% promedio de pendiente inferior y una longitud máxima de drenaje de 45 m.
- Pendiente de la cobertura de 25% y 38 m de longitud de drenaje.
- Pendiente de la superficie superior de la cumbre de 5% y 10 m de longitud de drenaje.

Los valores usados en el modelo HELP durante la evaluación, se encuentran resumidos en las Tablas 9 y 10.

Además de calcular los índices de generación promedio y pico de lixiviados usando el modelo HELP, el equipo hizo una simulación de una celda recién construida que no tenía desechos, como una condición posible en el peor de los casos para el relleno sanitario propuesto. Este flujo de lixiviado generado por una tormenta en una celda recientemente construida, fue simulada usando la fórmula racional ($Q = CIA$) con una precipitación de 64 mm/hora durante una tormenta de 25 años, de 60 minutos de duración. El volumen estimado de lixiviados producidos por esta intensidad de lluvia está basado en un área de la celda del relleno sanitario de 1 ha abierta para la colocación de desechos.

Tabla 9. Valores Usados en el Modelo HELP (Durante Operación)

Capa	Material	Tipo de Capa	Grosor (cm)	Conductividad Hidráulica Saturada Efectiva (cm/seg)
1	Desechos	Percolación Vertical	500 1,500 2,900	1.0×10^{-3}
2	Cubierta protectora del sistema de recubrimiento inferior/recolección de lixiviados	Drenaje Lateral	30	1.0×10^{-3}
3	Recubrimiento de geomembrana	Revestimiento de membrana flexible	0.15	2.0×10^{-13}
4	Recubrimiento de suelo de baja permeabilidad compactado	Barrera	60.96	1.0×10^{-7}

Tabla 10. Valores Usados en el Modelo HELP (Cierre)

Capa	Material	Tipo de Capa	Grosor (cm)	Conductividad Hidráulica Saturada Efectiva (cm/seg)
1	Cubierta protectora del suelo – suelo con vegetación	Percolación vertical	15	4.2×10^{-5}
2	Cubierta protectora del suelo – tierra	Percolación vertical	31	4.2×10^{-5}
3	Drenaje geocompuesto	Drenaje lateral	0.50	10
4	Recubrimiento de geomembrana	Revestimiento flexible de membrana	0.10	4.0×10^{-13}
5	Cobertura intermedia del suelo	Percolación vertical	30	4.2×10^{-5}
6	Desechos	Percolación vertical	2,900	1.0×10^{-3}
7	Cubierta protectora del suelo del recubrimiento inferior/recolección de lixiviados	Drenaje lateral	30	1.0×10^{-3}
8	Recubrimiento de la geomembrana	Revestimiento flexible de la membrana	0.15	2.0×10^{-13}
9	Recubrimiento de suelos de baja permeabilidad compactado	Barrera	30	1.0×10^{-7}

5.9 Resultados de la Generación de Lixiviados

Las Tablas 11, 12 y 13 resumen los resultados del modelo HELP y de las simulaciones de tormentas para el relleno sanitario propuesto.

Tabla 11. Resumen de Resultados de Generación de Lixiviados para un Área de 1 ha

Condiciones Operativas del Relleno Sanitario (Profundidad de los Desechos)	Generación Diaria Pico Estimada de Lixiviados por Hectárea ($m^3/día$)	Generación Diaria Promedio Estimada de Lixiviados por Hectárea ⁽¹⁾ ($m^3/día$)	Profundidad Promedio de Lixiviados en el Sistema de Recubrimiento Inferior (cm)
5 m	13	4	26.50
15 m	11	4	23.48
29 m	2	0.3	1.62
Cierre	0	0	0

(1) El resultado promedio anual del modelo HELP dividido entre 365 días por año.

Tabla 12. Resumen de Resultados de Generación de Lixiviados para Celda Recién Abierta (Condición de Mareas De Tempestades)

Área de la Base del Relleno Sanitario (A)	Intensidad de la Tormenta (I)	Coefficiente de Escorrentía (C)	Flujo de Tormenta ($Q = 0.278 \times C \times I \times A$)	Volumen Diario de Tormenta
0.0304 km ² (3.04 ha)	64 mm/hr	1.0	0.54 m ³ /seg (540 litros/seg)	46,656 m ³ (15,347 m ³ /ha)

5.10 Recolección de Lixiviados

Se calculó la capacidad hidráulica de la tubería de recolección de lixiviados para transportar la generación estimada del flujo de lixiviados diarios pico, como lo muestra la Tabla 11, así como el flujo de tormenta calculado, como lo muestra la Tabla 12. El diseño conceptual para la tubería de recolección de lixiviados para el relleno sanitario consiste de tubería de 250 mm de diámetro. Se coloca la tubería perforada en el medio longitudinal rodeada con grava en cada celda que se drene a un cárcamo.

Se usó la fórmula Manning para calcular la capacidad hidráulica para la tubería propuesta de recolección de lixiviados: $Q = (1.0/n) \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}$, donde n es el coeficiente de rugosidad (0.015), A es la sección transversal de la tubería, R es el radio hidráulico y S es la pendiente del gradiente hidráulico (0.04 m/m). En la Tabla 13 se pueden ver los resultados de la capacidad hidráulica de la tubería.

Tabla 13. Capacidad Hidráulica de la Tubería de Recolección de Lixiviados

Diámetro de la Tubería	Área de la Tubería (A)	Coefficiente de Rugosidad (n)	Radio Hidráulico ⁽¹⁾ (R)	Pendiente de la Tubería (S)	Capacidad Hidráulica de la Tubería
250	0.049 m ²	0.015	0.0625	0.04 m/m	0.11 m ³ /seg

(1) Basada en una tubería llena.

El flujo calculado de lixiviados para el área más grande del drenaje inferior de 3.04 ha (30,400 m²) y el pico máximo de generación diaria de lixiviados de 13 m³/día/ha es de 0.00046 m³/seg. La tubería de 250 mm de diámetro es adecuada para transportar el flujo pico diario de generación de lixiviados esperada. Sin embargo, no tiene la capacidad hidráulica para transportar todo el flujo de lixiviados generados durante una tormenta fuerte cuando la celda se construye recientemente. En este caso, los lixiviados serán almacenados sobre el sistema del recubrimiento inferior del relleno sanitario y se descargarán durante un período estimado de 3.9 días.

5.11 Bombeo de Lixiviados

El diseño conceptual para el relleno sanitario propuesto incluye bombas eléctricas sumergibles instaladas en cada cárcamo de recolección de lixiviados, cinco en total, para eliminar los lixiviados del fondo del relleno sanitario hacia las instalaciones de almacenamiento de lixiviados, a través de una tubería principal. En el Apéndice E, se han incluido ejemplos de sistemas eléctricos de bombas sumergibles usadas para aplicaciones en rellenos sanitarios.

Las bombas de lixiviados deben ser diseñadas en base al flujo pico diario de generación de lixiviados de la Tabla 11, 13 m³/día/ha, y el área de base de celda más grande del relleno sanitario de 3.04 ha. La producción de lixiviados de la celda que está recién abierta con ninguno o un mínimo de desechos es

cuando se espera que la producción de lixiviados provenientes de la precipitación sea la más alta. El volumen de lixiviados generados desde una celda recién abierta podría alcanzar 46,656 m³/día o 0.54 m³/seg (ver Tabla 12).

La Tabla 14 incluye un resumen de los resultados de la evaluación de bombas. Se recomienda que cada sumidero contenga una sola bomba eléctrica que sea capaz de bombear por lo menos 0.84 m³/min. Cuando una celda está recién construida para la disposición de desechos, y es evidente que existe la posibilidad de producción de lixiviados causada por precipitaciones, se podría requerir una bomba temporal más grande para evacuar los lixiviados de la celda de manera oportuna. Por cada bomba eléctrica sumergible de lixiviados, se deberá de guardar una bomba de repuesto en el sitio, en caso de algún fallo de la bomba o, tiempo de inactividad por mantenimiento.

Tabla 14. Resultados de la Evaluación de Bombas de Lixiviados

Caudal de Bombeo (Una Bomba) (m ³ /seg)	Generación Pico Diaria de Lixiviados Estimada (m ³ /seg)	Sumidero de Recolección de Lixiviados (Volumen del Sumidero = 50 m ³)		Tiempo de Funcionamiento de Bomba por 24 Horas (hrs)
	Flujo de Volumen Diario de Lixiviados (m ³)	Tiempo de Llenado de Cárcamo (min)	Tiempo de Drenaje del Cárcamo (min)	
0.002	0.00046	30	417	7.0
	39.74			
0.004	0.00046	30	208	3.5
	39.74			
0.006	0.00046	30	139	2.3
	39.74			
0.008	0.00046	30	104	1.7
	39.74			
0.010	0.00046	30	83	1.4
	39.74			
0.012	0.00046	30	69	1.2
	39.74			
0.014	0.00046	30	59	1.0
	39.74			

5.12 Almacenamiento de Lixiviados

El flujo pico diario de lixiviados estimado para relleno sanitario propuesto es de 31,847 m³/día. El flujo promedio diario de lixiviados estimado es de 37 m³/día. Estos flujos pico y promedio están basado en escenarios de llenado de desechos que se espera que produzcan la máxima generación de lixiviados como se puede ver en las Tablas 15 y 16.

La capacidad de almacenamiento de lixiviados recomendada para el relleno sanitario propuesto es de 45 días para una generación promedio diaria de lixiviados estimada (1,665 m³). En el caso de una generación pico diaria de lixiviados, se requerirían recursos adicionales para transportar y tratar los lixiviados adicionales producidos por el relleno sanitario.

Tabla 15. Evaluación de Almacenamiento de Lixiviados (Pico Diario)

Escenario de Llenado de Relleno Sanitario	Área de Drenaje Inferior del Relleno Sanitario (ha)	Generación Estimada Pico Diaria de Lixiviados por Hectárea ⁽¹⁾ (m ³ /día)	Volúmenes Pico de Lixiviados (m ³ /día)
Celdas 1, 2, 3 y 4 @ 15 m de desechos	7.17	11	78.87
Celda 5 celda abierta	2.07	15,347	31,768
Total	9.24		31,847

(1) Basado en las simulaciones del modelo HELP y mareas de tempestades

Tabla 16. Evaluación de Almacenamiento de Lixiviados (Promedio Diario)

Escenario de Llenado de Relleno Sanitario	Área de Drenaje Inferior del Relleno Sanitario (ha)	Generación Estimada Pico Diaria de Lixiviados por Hectárea (1) (m ³ /día)	Volúmenes Promedio de Lixiviados (m ³ /día)
Celdas 1, 2, 3 y 4 @ 15 m de desechos	7.17	4	28.68
Celda 5 @ 5 m de desechos	2.07	4	8.28
Total	9.24		37

(1) Basado en los resultados de la simulación del modelo HELP.

5.13 Gestión del Biogás

El biogás es un subproducto natural de la descomposición de materiales orgánicos en condiciones anaeróbicas (sin oxígeno). Contiene aproximadamente 50–55% de metano (CH₄) y 45–50% de dióxido de carbono (CO₂), con menos de 1% de compuestos volátiles orgánicos y pequeñas cantidades de compuestos inorgánicos.

Cuando inicialmente se depositan los RS en un relleno sanitario, por lo general sufre una etapa de descomposición aeróbica (con oxígeno) durante el cual se genera poco metano. Luego, a lo largo del tiempo, se establecen las condiciones anaeróbicas y las bacterias que producen metano comienzan a descomponer los desechos, generando metano. Las emisiones de biogás pueden producir problemas ambientales y de seguridad si éstos no son manejados correctamente. El metano es un gas de efecto invernadero (23 veces más potente que el CO₂) que contribuye al cambio climático y produce riesgos de seguridad, ya que se puede encender o aún puede explotar bajo ciertas condiciones. El biogás también causa problemas de olores en las áreas circundantes.

Se pueden aplicar mejores prácticas para exitosamente controlar las emisiones biogás y mitigar los problemas de seguridad y su impacto con las áreas circundantes.

6.0 Plan de Mejora - Relleno Sanitario Propuesto

6.1 Estimado de Vida del Relleno Sanitario Propuesto

Se espera que el relleno sanitario propuesto esté operando a un ritmo promedio de disposición de desechos de 200–250 Mg/día. El índice de disposición anual se ha calculado a 37,000 Mg con un índice anual de crecimiento del 2%, operando 365 días/año. Para calcular la vida útil del espacio disponible en el

relleno sanitario propuesto, se utilizó una densidad in-situ de 0.712 Mg/m³. La expectativa de vida incrementaría o disminuiría dependiendo de varios factores, incluyendo las características de los desechos, la compactación de desechos lograda durante la colocación y el ritmo de descomposición de los desechos.

El relleno sanitario propuesto tiene un volumen estimado del espacio disponible total para la disposición de desechos de 1,309,877 m³. Se calculó la estimación usando modelos digitales AutoCAD Civil 3D generados usando las pendientes inferiores y superiores del relleno sanitario propuesto.

Con un volumen estimado de espacio disponible para relleno sanitario de 1,309, 877 m³, un índice de disposición conservador de 73,000 toneladas por año y un promedio de densidad de desechos in-situ de 0.712 Mg/m³, se ha calculado que la capacidad total de disposición para el relleno sanitario se alcanzaría en aproximadamente 8.75 años. La capacidad y expectativa de vida para el propuesto relleno sanitario se encuentra resumido en la Tabla 17.

Tabla 17. Capacidad y Expectativa de Vida del Relleno Sanitario Propuesto

Celda ID	Área (ha)	Espacio Disponible (m ³)	Espacio Disponible ⁽¹⁾ (Mg)	Estimado de Desechos Existentes ⁽³⁾ (Mg)	Inicio ⁽²⁾	Final ⁽²⁾
1	1.02	54,911	39,097		Ene-20	Jul-20
2	1.51	97,985	69,765	34,883	Ago-20	Dic-20
3	1.61	177,963	126,710	63,355	Ene-21	Oct-21
4	3.03	421,324	299,983	118,095	Nov-21	Ene-24
5	2.07	557,694	397,078	0	Feb-24	Sep-28
Total	9.24	1,309,877	932,633	216,332		

(1) Espacio disponible en Mg basado en 0.712 Mg/m³ de densidad de desechos in-situ. Las cifras del espacio disponible han sido redondeadas a números enteros.

(2) Asumiendo la implementación del proyecto durante el 2019 y la disposición hacia el relleno sanitario inicia en enero 2020.

(3) Considera un 46% de reducción de desechos después de la descomposición total de residuos alimenticios.

Notar que la vida del relleno sanitario propuesto se podría extender al incrementar la densidad de desechos in-situ durante su compactación; una densidad de 0.8 Mg/m³ puede proporcionar una vida de aproximada de 9.8 años y una densidad de desechos in-situ de 1.0 Mg/m³ que puede proporcionar una vida de hasta 12.25 años, casi tres años más de vida del relleno sanitario.

6.2 Diseño Conceptual

El área del relleno sanitario propuesto es de 9.24 ha, con una elevación final de desechos de 98 m. El relleno sanitario propuesto fue dividido en 5 fases con diferentes áreas y elevación de desechos intermedios que dependen del desarrollo de la construcción y operación de estas.

Los planos que muestran el diseño conceptual para el relleno sanitario propuesto (ver Apéndice C) se listan a continuación. Los planos muestran una descripción razonable de la construcción de las Fases 1 a la 5, La conformación final y la conformación intermedia de llenado de desechos para cada fase. En general, los planos incluyen planes y detalles para:

- Caminos de acceso permanentes y temporales.
- Terraplenes intermedios interiores y perimetrales.
- Sistema de recubrimiento inferior del relleno sanitario.
- Recolección y control de lixiviados.
- Gestión de las aguas lluvia.
- Recolección y control de biogás.

La Tabla 18 presenta una lista de planos del diseño conceptual (ver Apéndice C).

Tabla 18. Planos del Diseño Conceptual del Relleno Sanitario Propuesto

Planos	Descripción
0	Portada
1	Desarrollo conceptual del sitio
2	Superficie potenciométrica de aguas subterráneas
3	Desarrollo conceptual del relleno sanitario
4	Plan conceptual de la clausura del relleno sanitario
5	Perfiles del relleno sanitario
6	Gestión de lixiviados
7	Plan de excavación de Celda 1
8	Plan de conformación intermedia Celda 1 y plan de excavación Celda 2
9	Plan de conformación intermedia Celdas 1-2 y plan de excavación Celda 3
10	Plan de conformación intermedia Celda 1-3 y plan de excavación celda 4
11	Plan de conformación intermedia Celdas 1-4 y plan de excavación Celda 5
12	Plan de conformación de Celdas 1-5
13	Detalles de la gestión de aguas pluviales
14	Detalles del relleno sanitario
15	Detalles del relleno sanitario
16	Detalles del relleno sanitario
17	Detalles del relleno sanitario

6.3 Sistema de Cobertura Final

Una vez que el relleno sanitario propuesto haya alcanzado las elevaciones de desechos finales, un sistema de cobertura final será instalado. El objetivo principal es evitar la infiltración de lluvia dentro de los desechos, minimizando la producción de lixiviados. También provee una barrera entre los desechos y el público y el medio ambiente e incrementa la eficiencia de la recolección del biogás. El sistema propuesto consta de las siguientes capas, de arriba hacia abajo:

- 46 cm de capa de suelo protectora de geosintéticos con 15 cm superiores capaces de soportar el crecimiento de plantas nativas.
- Geosintéticos que consisten de un drenaje geocompuesto que tiene una conductividad hidráulica mínima de 10 cm/seg y una geomembrana de polietileno baja densidad (LLDPE) de 1 mm.
- 30 cm de cubierta intermedia de suelos colocada sobre los desechos antes de la colocación de los geosintéticos. La cubierta intermedia de suelos deberá de consistir de suelos de baja permeabilidad para proteger la integridad de los geosintéticos de los desechos subyacentes.

Ver la Figura 7 a continuación para la ilustración.

El sistema de cubierta final debería ser colocado en una pendiente de no menos de 5% para promover el drenaje positivo de las aguas pluviales. La pendiente máxima es de 33% (el diseño conceptual tiene una pendiente máxima de 25%) para promover la estabilidad estática y sísmica del sistema de la cobertura final del relleno sanitario y masa de residuos. El Plano 1 del diseño conceptual proporciona detalles para el sistema de cobertura final (ver Apéndice C).

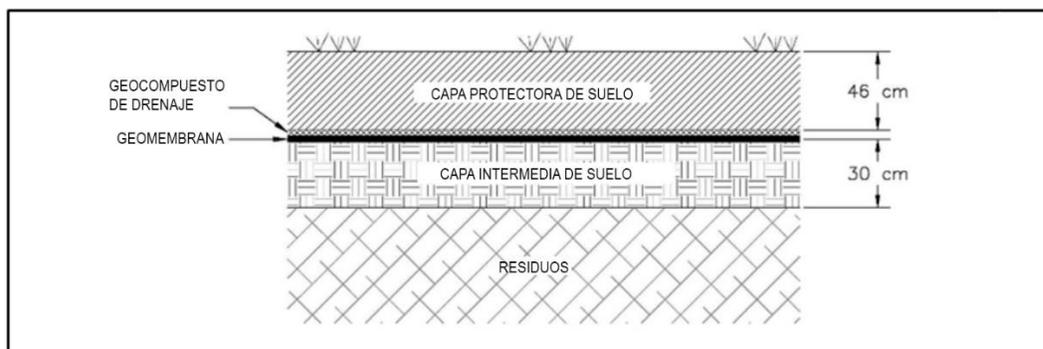


Figura 7. Sistema de Cobertura Final

6.4 Evaluación de Estabilidad de Taludes

Como puede verse en el Plano 5 (ver Apéndice C), la estabilidad de taludes fue modelado por dos secciones transversales usando PCSTABL5M: la sección oeste-este (W-E) y la sección sur-norte (S-N). Las secciones transversales están alineadas perpendicularmente a la inclinación final.

Las propiedades de resistencia al corte de los desechos están basadas en experiencias prácticas y en una revisión de literatura publicada y valores aplicados en RS similares. La resistencia al corte de los materiales del suelo y materiales geosintéticos propuestos para el Sitio están basados en la clasificación del suelo y en los resultados de las pruebas estándar Proctor, así como en la familiaridad y experiencia del equipo, con materiales similares de suelo/geosintéticos usados en el pasado. La Tabla 19 presenta los valores supuestos para cada uno de los parámetros y tipos de materiales usados en el análisis de estabilidad de taludes.

Tabla 19. Propiedades Geotécnicas Supuestas

Tipo de Material	Descripción	Peso Total (kN/m ³)	Peso Saturado (kN/m ³)	Cohesión/ Adhesión (kPa)	Ángulo de Fricción (Grados)	Comentarios
1	Terreno de cimentación	18.6	22.4	25.0	35.0	Únicamente estimado
2	Relleno estructural	17.7	21.7	0.0	32.0	Únicamente estimado
3	Cubierta final	17.0	17.0	0.0	28.0	Asume una capa
4	RS	7.0	7.0	12.0	30.0	Valores promedio basados en experiencia de SCS
5	Interface del sistema de recubrimiento inferior	17.0	17.0	0.0	21.0	Asume valores de resistencia al corte en la interface entre la geomembrana texturizada y la tierra arcillosa

Los factores mínimos de seguridad recomendados para las condiciones analizadas fueron tomados del *Manual Técnico para el Diseño de las Instalaciones para la Disposición de Desechos Sólidos* de la EPA. El factor mínimo para las condiciones de carga estática es 1.5 y el factor mínimo para las condiciones de carga sísmica o pseudo-estática (tales como durante un terremoto) es mayor que o igual a 1.0.

La pendiente final propuesta a lo largo de la sección W-E es de 1(V):4(H), o 25%. La altura máxima de desechos es aproximadamente 30 m y la altura de la berma perimetral desde el cárcamo es 5 m. La aceleración del suelo pico a 2% de excedencia en 50 años es 0.40 g basado en un mapa publicado sobre peligrosidad sísmica para el área de Santo Domingo.

Para la sección W-E, se calculó el factor de seguridad estática en 2.87 y el factor de seguridad sísmica en 1.01 bajo el modo de falla circular. Los factores calculados son mayores que el requerimiento mínimo recomendado por la EPA, indicando que la pendiente evaluada es estable bajo las condiciones usadas en el análisis. Para la superficie de falla tipo bloque a lo largo de la interface del sistema de recubrimiento inferior, se calculó el factor estático a 2.37 y el factor sísmico se calculó en 0.79. Este factor estático es mayor que el requerimiento mínimo recomendado por la EPA, indicando que la pendiente evaluada es estable; sin embargo, debido a que el factor sísmico es menos de 1.0, se realizó una evaluación permanente de desplazamiento usando los Gráficos de Desplazamiento Permanente de Newmark.

Asumiendo un terremoto con una magnitud de 8.25 y usando una aceleración del rendimiento de 0.28g cuando el factor de seguridad es igual a 1.90, se encontró que el desplazamiento permanente calculado usando los gráficos de Newmark es un rango entre 4 a 13 cm, con un promedio de 7 cm. Menor a 30 cm que es la norma de la industria para este caso.

Para la sección S-N se calculó el factor de seguridad estática en 2.97 y el factor de seguridad sísmica en 1.01 bajo el modo de falla circular. Estos factores calculados son mayores que el requerimiento mínimo recomendado por la EPA, lo que indica que la pendiente evaluada es estable. Para la superficie de falla de tipo bloque a lo largo de los interfaces del sistema inferior de revestimiento, el factor estático se calculó en 2.32 y el factor sísmico se calculó en 0.74. Este factor estático es mayor que el requerimiento mínimo recomendado por la EPA, lo que indica que la pendiente evaluada es estable; sin embargo, debido a que el factor sísmico es menor de 1.0, se realizó una evaluación de desplazamiento permanente usando los gráficos de Newmark.

Asumiendo un terremoto con una magnitud de 8.25 y usando una aceleración del rendimiento de 0.26 g cuando el factor de seguridad es igual a 1.0, se encontró que el desplazamiento permanente calculado usando los gráficos de Newmark es un rango entre 7 a 23 cm, con un promedio de 12 cm. Menor a 30 cm que es la norma de la industria para este caso.

Aunque el factor de seguridad estática calculado está arriba del valor recomendado de 1.50, y asumiendo que el sistema de recolección de lixiviados está en operación, se recomienda la evacuación constante de lixiviados para mantener una altura de lixiviados menor a 0.3 m en el recubrimiento inferior durante las operaciones del relleno sanitario.

Los resultados del análisis global de estabilidad de taludes indican que las pendientes propuestas son estables bajo las condiciones que fueron analizadas. Es preferible usar una geomembrana de polietileno de alta densidad texturizado (PEAD) en la base de la celda debido a que su instalación es más fácil, hay menos soldadura y un mejor control/aseguramiento de calidad durante la construcción.

6.5 Gestión de Aguas Subterráneas y Control de la Erosión

La recolección y manejo de las aguas pluviales es importante durante la construcción y operaciones del relleno sanitario, para minimizar la erosión del suelo y minimizar la generación de lixiviados como resultado de la infiltración de aguas pluviales a través de la cubierta del suelo final e intermedia del relleno sanitario. Es importante que el relleno sanitario tenga pendientes y características de recolección y gestión de las precipitaciones y del escurrimiento (zanjas, bermas, tuberías, lagunas de almacenamiento, etc.) para evitar el estancamiento del agua y una excesiva erosión del suelo.

Los planos del diseño conceptual (ver Apéndice C), incluyen un esquema general y detalles para el transporte de aguas pluviales y características de gestión recomendadas para que sean incorporadas dentro de la construcción y operación. Se recomienda realizar análisis adicionales de la escorrentía de aguas pluviales y de su transporte antes de la construcción y operaciones del relleno sanitario para refinar la cantidad, el esquema, la geometría y tamaños del transporte de aguas pluviales y características de gestión. Entre las características recomendadas de transporte de aguas pluviales y gestión, se incluyen:

- Zanjas (canales) temporales y permanentes y tuberías para transportar las aguas pluviales desde el relleno sanitario con una pendiente longitudinal de entre 3% y 6% y pendientes laterales no mayores del 25% para reducir la posibilidad de la erosión del canal. Adicionalmente, para asistir en aliviar la erosión del canal, se recomienda aplicación temporal de redes fibrosa junto con siembra de hierba para que se incorpore en la construcción del canal, así como una capa de roca colocada en áreas de alto flujo o velocidad.
- Las bermas de las pendientes laterales del relleno sanitario para recolectar y transportar los escurrimientos de aguas pluviales en el relleno sanitario, es de aproximadamente 5 m de ancho y colocado a lo largo de la pendiente del relleno sanitario cada 12 m en elevación. Se recomienda que dichas bermas tengan una inclinación longitudinal de entre 3% a 6%. Se pueden construir estas banquetas en los desechos con cubierta de suelo, o construidas de suelo compactado colocado en la pendiente lateral del relleno sanitario.
- La colocación de tuberías de desagüe cuesta abajo a puntos bajos a lo largo de las bermas en las pendientes laterales y en ubicaciones a lo largo de la berma, según sea necesario, para promover el transporte de las aguas pluviales. Estas tuberías deberán de asegurarse al relleno sanitario en intervalos suficientes colocando suelo encima o con otros métodos.
- Lagunas de almacenamiento para acumular las aguas pluviales que son transportadas desde el relleno sanitario y luego descargadas a través del tiempo y para asistir en la eliminación de sedimentos y otros contaminantes de los escurrimientos de las aguas pluviales. Las lagunas deberán tener suficiente volumen para almacenar el volumen de las aguas pluviales generadas de los escurrimientos pico. Su longitud de flujo deberá ser al menos dos veces su ancho para promover la sedimentación de materiales y contaminantes de los escurrimientos de aguas pluviales recolectadas. Las descargas de una laguna serán a través de un vertedero principal que puede ser un tubo ascendente o una estructura de concreto con orificio(s) rodeado de grava y conectado a una tubería sólida de salida, o a través de un rebosadero construido con roca y grava. El almacenamiento del estanque mínimo recomendado es de 252 m³/ha desaguando hacia el estanque y con un tiempo de detención de 24-48. horas. La Figura 8 presenta un diagrama de una laguna de almacenamiento de aguas pluviales típica.

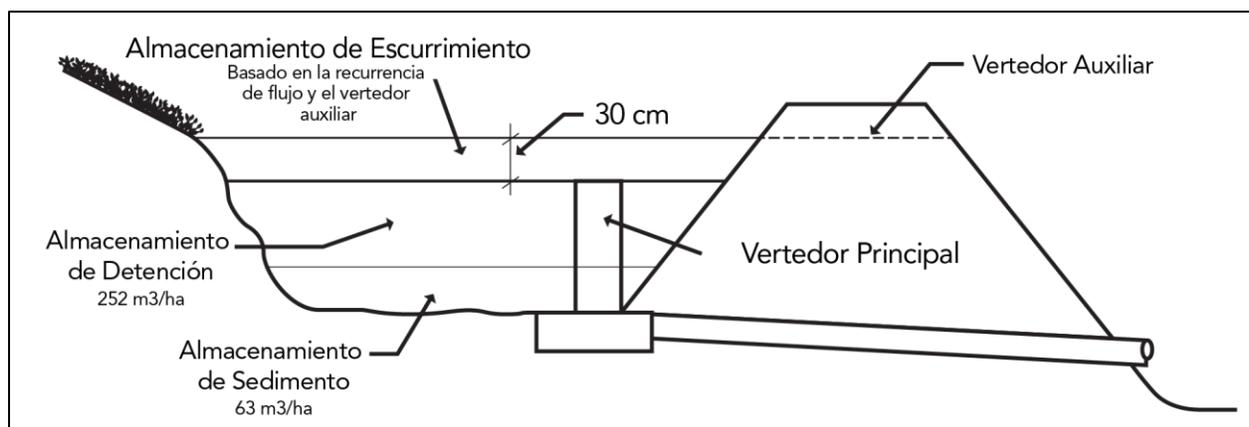


Figura 8. Diagrama de la Cuenta de Almacenamiento de Aguas Pluviales Típica

6.6 Gestión de Biogás

6.6.1 Generación de Biogás y Proyecciones de Recuperación

Se realizó un análisis de las proyecciones de generación y recuperación de biogás para el relleno sanitario propuesto. El análisis provee estimaciones de la generación de biogás proveniente del vertedero existente y del potencial de generación y recuperación de biogás del relleno sanitario propuesto. El informe asume que la implementación del proyecto ocurrirá en 2019.

Antecedentes del Modelo Internacional SCS

SCS desarrolló un modelo internacional patentado de biogás que usa una ecuación de descomposición de primer orden para estimar la generación de biogás basado a los índices anuales de disposición de desechos, la cantidad de metano que produce 1 tonelada de desechos (valor L_0), y el índice de descomposición de los desechos y producción de biogás (valor k). Las variables del modelo k y L_0 se desarrollaron en base a los datos de composición de los desechos y la información climática. A continuación se presentan los valores de los parámetros en el modelo.

El modelo usa las mismas variables y es similar al Modelo de Emisiones de Gas en Rellenos Sanitarios de US EPA (LandGEM). La diferencia más significativa entre los modelos, es la asignación de múltiples valores k y L_0 en el modelo internacional SCS. Mientras que la ecuación de descomposición de primer orden sencilla (solo un valor k y L_0) es usada en LandGEM es apropiado para modelar rellenos sanitarios de los EUA, este enfoque no modela adecuadamente la generación de biogás en los sitios de rellenos sanitarios en países en desarrollo – esto se debe principalmente a que la composición de los desechos es muy diferente y las condiciones de los sitios, que crean diferentes patrones de descomposición de desechos y de la generación de biogás a lo largo del tiempo. Esta suposición crea un error significativo cuando se modelan los rellenos sanitarios con un alto porcentaje de desechos alimenticios porque la productividad de biogás disminuye a lo largo del tiempo en la medida que se consumen los desechos alimenticios y solamente permanecen los materiales que tienen una lenta descomposición.

El modelo SCS usa módulos separados con diferentes valores k y L_0 que calculan la generación de biogás de los diferentes componentes de desechos. Este enfoque del modelo de descomposición de primer orden de “múltiples fases” reconoce que las diferencias significativas en los tipos de desechos vertidos en países en desarrollo, requieren cambios en la estructura del modelo así como en los valores de las variables. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) adoptó un enfoque similar, y publicó un modelo de generación de metano para rellenos sanitarios en el año 2006 que aplica módulos separados para cuatro diferentes categorías de desechos.

6.6.1.1 Escenarios de Recuperación de Biogás

Se desarrollaron tres escenarios de recuperación de biogás que reflejan los niveles de esfuerzo y cantidades de recursos disponibles para instalar y operar un sistema de control y recuperación de biogás (SCRB) efectivo. Los tres escenarios suponen lo siguiente:

- El relleno sanitario propuesto recibiría todos los desechos entregados al Sitio, iniciando en enero de 2020.
- Los desechos del vertedero existente serán excavados y movilizados al relleno sanitario propuesto entre Julio 2020 y principios de 2023, de acuerdo con la programación que se encuentra en la Tabla 1.
- Se instalaría un SCRБ en el relleno sanitario propuesto e iniciaría operaciones en 2022. El sistema de recolección de biogás sería instalado inicialmente en las Celdas 1, 2 y 3 y sería ampliado anualmente, mientras que el relleno sanitario propuesto continúa recibiendo desechos.
- El relleno sanitario propuesto estará diseñado para limitar la acumulación de lixiviados en la masa de residuos y se llevarían a cabo esfuerzos continuos para manejar la acumulación de lixiviados en los pozos de extracción, incluyendo la instalación y operación de bombas de extracción de líquidos en los pozos.

- El relleno sanitario propuesto cerraría en 2028 y se instalaría y completaría una cubierta final para el año 2030.

A continuación, se definen tres escenarios:

- El **escenario de recuperación media** que asume lo siguiente:
 - Un nivel moderado de habilidades y esfuerzos se usa en la implementación del nuevo SCRB, mejoras continuas al SCRB y su O&M (por ejemplo, incluyendo el monitoreo y ajuste del campo de pozos a realizarse por lo menos dos veces por mes).
 - Se alcanza un grado moderado de éxito en el manejo de la acumulación de lixiviados.
- Un **escenario de recuperación alta** asume lo siguiente:
 - Un nivel alto de habilidades y esfuerzos es usado en la implementación de un nuevo SCRB, mejoras continuas al sistema de recolección y su O&M (por ejemplo, incluyendo el monitoreo y ajuste del campo de pozos a realizarse por lo menos una vez por semana).
 - Se alcanza un alto grado de éxito en el manejo de la acumulación de lixiviados.
- Un **escenario de recuperación “baja”** asume lo siguiente:
 - Un nivel relativamente bajo de habilidades y esfuerzos es uso en la implementación de un nuevo SCRB, mejoras continuas al SCRB y su O&M (por ejemplo, incluyendo el monitoreo y ajuste del campo de pozos a realizarse por lo menos una vez al mes).
 - Gestiones para manejar la acumulación de lixiviados alcanzaría resultados mezclados y niveles elevados de líquidos en pozos de extracción limitarían su efectividad.

6.6.1.2 Suposiciones de las Variables del Modelo Biogás

Índices de Disposición de Desechos

El Sitio existente inició operaciones en junio 2014. Los índices de disposición han promediado aproximadamente 200 Mg/día para una tasa anual estimada de 73,000 Mg/año, hasta del año 2018. Se han dispuesto un total aproximado de 300,000 Mg de desechos hasta mes de agosto 2018. Después del 2018, se ha proyectado de que la disposición de desechos incrementará en un 2% por año, basado en el índice de crecimiento anual proyectada de la población. La disposición de los desechos en el Sitio está prevista a sumar a 74,460 Mg en 2019. Bajo el proyecto de construcción del relleno sanitario propuesto, el vertedero existente estaría cerrando a finales del año 2019.

Iniciando en enero 2020, todos los desechos entregados serán dispuestos in el relleno sanitario propuesto. La disposición de desechos continuaría en el Sitio a partir del 2020 hasta que se alcance la capacidad estimada del Sitio de 932,630 Mg. Los desechos existentes serán excavados, iniciando en Julio 2020 y transferidos al relleno sanitario propuesto. Se supone que la transferencia de los desechos del vertedero existente y disposición en el relleno sanitario propuesto ocurrirá al mismo ritmo anual de la disposición de desechos, hasta que se haya eliminado todos los desechos que se encuentran en el vertedero existente. Basados en lis índices históricos y proyectados desde 2014 hasta 2019, se habrían colocado un total de 402,960 Mg en el vertedero existente. De esta cantidad eliminada, se estima que la descomposición de desechos orgánicos reduciría la cantidad de desechos que quedan pendientes en el vertedero existente en aproximadamente 41% para Julio 2020, cuando inicie la transferencia de desechos al relleno sanitario propuesto. Una continua descomposición de desechos orgánicos que están pendientes en el vertedero existente, esperando ser excavados y transferidos, podría reducir el monto total depositado en el relleno sanitario propuesto, a 216,332 Mg (una reducción de 46% de los desechos eliminados) para el 2023, cuando se estima que la transferencia de todos los desechos del vertedero existente estaría completa.

La Tabla 20 muestra los índices históricos y proyectados de disposición de desechos para el vertedero existente y para el relleno sanitario propuesto. Específicamente, detalla:

- Las cantidades acumuladas de desechos dispuestos en el vertedero existente al final de cada año (también detallado en la Tabla 1).
- Cantidades anuales de desechos a ser transferidos del vertedero existente al relleno sanitario propuesto.
- Cantidad de desechos pendientes en el vertedero existente después de tener en cuenta la descomposición de los desechos orgánicos y transferirlos al relleno sanitario propuesto.
- Cantidades acumulativas de desechos dispuestos en el relleno sanitario propuesto y transferidos del vertedero existente al relleno sanitario propuesto a final de cada año.

En base a la capacidad estimada del relleno sanitario propuesto, Los índices proyectados de disposición de desechos y las cantidades estimadas de desechos transferidos del vertedero existente al relleno sanitario propuesto del año 2020 al año 2023, se estima que la capacidad del relleno sanitario propuesto de 932,630 Mg alcanzaría disposición hasta mediados de 2028.

Tabla 20. Índices Históricos y Proyectados para la Disposición de Desechos

Año	Vertedero Existente				Relleno Sanitario Propuesto	
	Índice de Disposición (Mg/año)	Total Acumulado de Desechos Eliminados (Mg)	Cantidad de Desechos Transferidos del Vertedero (Mg)	Desechos Totales Pendientes Después de Descomposición y Transferencia al Relleno Sanitario (Mg)	Índice de Disposición (Mg/año)	Desechos Acumulados Totales Eliminados y Transferidos (Mg)
2014	36,500	36,500	0	35,566	0	0
2015	73,000	109,500	0	100,577	0	0
2016	73,000	182,500	0	155,412	0	0
2017	73,000	255,500	0	203,458	0	0
2018	73,000	328,500	0	246,892	0	0
2019	74,460	402,960	0	288,544	0	0
2020	0	402,960	36,758	218,526	75,950	112,528
2021	0	402,960	77,470	118,239	77,470	267,468
2022	0	402,960	79,020	23,265	79,020	425,508
2023	0	402,960	23,265	0	80,600	529,372
2024	0	402,960	0	0	82,210	611,582
2025	0	402,960	0	0	83,850	695,432
2026	0	402,960	0	0	85,530	780,962
2027	0	402,960	0	0	87,240	868,202
2028	0	402,960	0	0	64,430	932,632

Composición de los Desechos

El índice y volumen de biogás producido en un sitio, depende de las características de los desechos (contenido de humedad, composición y edad) a de una serie de factores ambientales, incluyendo la presencia de oxígeno en la masa de desechos, humedad de los desechos, pH y temperatura. Mientras más desechos orgánicos se encuentran presentes en un relleno sanitario, más mayor cantidad de biogás será generada por las bacterias metanogénicas durante la descomposición. El índice de descomposición de desechos y la generación de biogás varían significativamente con la edad de los desechos y los tipos de desechos orgánicos, Así que desechos recientemente enterrados conteniendo alto porcentaje de desechos alimenticios serán más productivo que los desechos más viejos que contienen únicamente materiales de descomposición lenta que se mantienen mucho después de que se ha consumido los desechos alimenticios. La composición estimada de los desechos eliminados en el Sitio está basada en los datos disponibles (estudios de JICA y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales en Santo Domingo y GEGESTI en San Cristóbal), como lo muestra la Tabla 21.

Tabla 21. Composición Estimada de Desechos

Tipo de Desechos	Porcentaje (%)
Desechos alimenticios	36.3
Desechos vegetales	18.8
Papel	11.8
Textiles	1.3
Hule/cuero	1.0
Papel higiénico	1.0
Plásticos	17.8
Vidrio, cerámica y escombros	9.3
Metales	2.6
Otros desechos inorgánicos	0.1
Total	100

El contenido orgánico estimado de los desechos eliminados es de aproximadamente 70% y esto está basado en los datos disponibles de composición de los desechos. Para efectos de modelado de biogás, los desechos orgánicos están dividido en tres categorías en base a el índice de descomposición de los desechos y la generación de biogás:

- Desechos orgánicos de descomposición rápida, incluyendo desechos alimenticios, una porción de los residuos vegetales y papel higiénico.
- Desechos orgánicos de descomposición media, incluyendo papel y textiles.
- Desechos orgánicos de descomposición lenta, incluyendo una parte de los residuos vegetales, hule y cuero.

Valores de La Variable k

Los valores del k de 0.45, 0.073 y 0.038 fueron asignados para las fracciones de desechos orgánicos de descomposición rápida, media y lenta, respectivamente. Los valores están basándonos en el índice de precipitación y condiciones de humedad de los desechos, en el relleno sanitario propuesto.

Factor de Corrección de Metano

El IPCC recomienda justificar las condiciones aeróbicas en los rellenos sanitarios, mediante la aplicación del “factor de corrección de metano” (FCM) que varía de 0.4 (60% de reducción en la generación de biogás para vertederos muy poco profundos a 1.0 (ninguna reducción para rellenos sanitarios administrados). Se recomienda un FCM de 0.8 para sitios no administrados arriba de 5 m de profundidad.

Al vertedero existente se le asignaría un FCM de 0.8 en base al sistema de clasificación del IPCC. Sin embargo, la excavación de desechos del vertedero existente y la colocación en el relleno sanitario propuesto causaría un gran incremento en la descomposición aeróbica de desechos durante el período en el cual dichos desechos estén expuesto al aire, hasta que sean enterrados en el relleno sanitario propuesto. Debido a este incremento en la descomposición aeróbica, se aplicó un FCM de 0.5 a los desechos eliminados en el vertedero existente desde 2014 hasta 2019, que es equivalente a 50% de reducción en los valores L_0 asignados en base a la composición de desechos (detallados más abajo).

Para desechos eliminados en el relleno sanitario propuesto iniciando en Julio 2020, (excluyendo desechos transferidos desde el vertedero existente), se aplicó un FCM de 1.0 (ninguna deducción por descomposición de aeróbicos).

Valores de La Variable L_0

Se usaron los datos de composición de los desechos para calcular los valores L_0 para las tres categorías detalladas anteriormente, en base a la fracción de carbono orgánico degradable para cada tipo de desechos. Se calcularon valores L_0 separados para las diferentes categorías de desechos. Los valores a L_0 son los siguientes:

- Desechos de rápida descomposición: 74 m³/Mg.
- Desechos de descomposición media: 179 m³/Mg.
- Desechos de descomposición lenta: 185 m³/Mg.

Como se ha comentado anteriormente se aplicó un FCM de 0.5 a los desechos eliminados antes de Julio 2020 en el vertedero existente (y transferido al relleno sanitario propuesto), para justificar la descomposición aeróbica que tiene el efecto de reducir en 50% los valores L_0 para la porción orgánica de estos desechos. A la fracción de desechos que consisten de materiales inertes (por ejemplo, desechos de construcción y demoliciones, metales, plásticos, vidrio y cerámica) se le asignó un valor L_0 de 0 debido a que no se espera a que contribuyan a la generación de biogás. El valor L_0 relativamente bajo para desechos de descomposición rápida es debido en gran parte a un mayor contenido de humedad en los desechos alimenticios (agua siendo inerte).

Eficiencia de Recuperación

Se desarrollaron tres proyecciones de recuperación de biogás para reflejar un rango de eficiencias de recolección alcanzable que varían dependiendo del nivel de esfuerzo y cantidad de recursos disponibles para operar el SCRB. A continuación, se detallan las suposiciones en la eficiencia de recolección bajo las siguientes tres proyecciones de recuperación:

1. La proyección de rango medio asume que la eficiencia de recuperación sería de 40% en 2022, 50% en 2023 y 55% a partir de 2024 hasta después del cierre del propuesto relleno sanitario especialmente diseñado. La eficiencia de recuperación está supuesta a incrementar a 58% en 2032, y alcanzar un máximo de 60% en 2033, después de que se ha instalado la cubierta final. El escenario de recuperación de rango medio está considerado de ser el mejor estimado de posible recuperación y se recomienda para ser usado en una evaluación económica.
2. La proyección de rango bajo asume que la eficiencia de recuperación sería de 25% en 2022, 35% en 2023 y 40% a partir de 2024 hasta después del cierre del propuesto relleno sanitario especialmente

diseñado. La eficiencia de recuperación está supuesta a incrementar a 43% en 2032, y alcanzar un máximo de 45% en 2033 después de que se ha instalado la cubierta final. Las estimaciones de recuperación baja están consideradas de ser conservadores y deberían ser usados únicamente si se necesita un gran margen de seguridad.

3. La proyección de recuperación alta asume que la eficiencia de recuperación sería 50% en 2022, 60% en 2023 y 65% a partir de 2024 hasta después del cierre del propuesto relleno sanitario especialmente diseñado. La eficiencia de recuperación está supuesta a incrementar a 68% en 2032 y alcanzar un máximo de 70% en 2033 después de que se ha instalado la cubierta final. Las estimaciones de recuperación alta están consideradas como ambiciosos y alcanzables únicamente si se considera que el mantenimiento óptimo del SCRB es una prioridad principal.

Además de la variabilidad potencial en la eficiencia de recuperación y del nivel de O&M, el modelado matemático de biogás es inherentemente incierto. El equipo del proyecto consideró y trató de justificar esta incertidumbre del modelo al seleccionar los valores para los escenarios de recuperación alta y baja cuando se trata de proyectar los índices de recuperación de biogás. Estas proyecciones de recuperación altas y bajas no deberán ser consideradas como valores mínimos y máximos, pero como un posible rango asumiendo la instalación de un SCRB relativamente integral y otras suposiciones detalladas arriba.

6.6.1.3 Resultados del Modelo de Biogás

Las proyecciones de generación y recuperación de biogás se encuentran en mayor detalle en el Apéndice D. Las Tablas A-1 y A-2 en el Apéndice D proveen los resultados del modelo de biogás, incluyendo:

- Estimaciones de disposición anual y valores de los “desechos en su lugar”.
- Índices proyectados de generación de biogás hasta finalizado el 2040 (en m³/hora y ft³/minutos).
- Los valores k son usados para las fracciones de desechos orgánicos de descomposición rápida, media y lenta.
- Los valores L₀ calculado para las fracciones de desechos orgánicos de descomposición rápida, media y lenta (no incluyendo el 50% de reducción aplicada a los desechos eliminados antes de julio 2020).
- Eficiencia proyectada de recolección (en %) y índices de recuperación de biogás (en m³/horas y ft³/minutos) bajo los escenarios de recuperación alta, de rango medio y baja.

La Tabla 22 que se encuentra a continuación muestra la recuperación proyectada de biogás en 2022-2040 dentro de los escenarios de rango medio, bajo y alto. La generación y recuperación de biogás está proyectada a continuar en descenso después de 2040.

Tabla 22. Índices Proyectados de Recuperación de Biogás

Año	Recuperación de Rango Medio (m³/hr)	Recuperación Alta (m³/hr)	Recuperación Baja (m³/hr)
2022	196	245	123
2023	289	347	202
2024	356	421	259
2025	389	459	283
2026	417	493	303
2027	442	523	322
2028	466	551	339
2029	426	503	310
2030	332	392	241
2031	264	312	192
2032	230	270	171
2033	203	237	152
2034	178	207	133
2035	159	185	119
2036	144	168	108
2037	132	154	99
2038	123	143	92
2039	114	133	86
2040	107	125	80

Nota: Los índices proyectados de recuperación de biogás se encuentran en m³/hr, ajustadas a 50% de metano.

6.6.1.4 Limitaciones de Responsabilidad del Modelo

Este informe fue preparado de acuerdo con la prudencia y habilidad ejercida por profesionales de biogás de rellenos sanitarios, bajo circunstancias similares en esta u otras localidades similares. No se ha hecho ninguna garantía expresa o implícita en cuanto a las opiniones profesionales presentadas acá. Cambios en el uso y condiciones de la propiedad del relleno sanitario (por ejemplo, variaciones en la precipitación, niveles de agua, operaciones del relleno sanitario, sistemas de la cubierta final u otros factores) podrían afectar la futura recuperación de biogás en el propuesto relleno sanitario. No se garantiza la cantidad o calidad disponible de biogás. Este informe ha sido preparado exclusivamente para uso de Battelle. Ninguna otra parte está prevista como beneficiario de este informe ni de la información que contiene. Terceros utilizan este informen bajo su propio riesgo. Los autores no asumen ninguna responsabilidad por la precisión de la información que han obtenido de, o ha sido provista por, terceros.

6.6.2 Diseño de Campo de Pozos

El paso inicial para la realización de un diseño del SCRB es determinar la ubicación de los pozos de extracción. Los pozos deberán ser colocados a una densidad suficiente a lo largo del relleno sanitario propuesto para recuperar el biogás de manera eficiente. El espaciado (o distancia horizontal) entre los pozos será determinado mediante el “radio de influencia” (RI). El RI define un área mediante el cual se puede extraer el gas sin introducir aire en exceso dentro de la masa de residuos. En el Apéndice C se encuentran los dibujos detallados mostrando el trazado del SCRB.

6.6.2.1 Presión de Succión en Pozo

La presión de succión aplicada a cada pozo afecta directamente el RI. Los tamaños de tuberías establecidos en la siguiente sección, deberá proveer una presión de succión con columna de agua de por lo menos 250 mm disponible en cada pozo.

6.6.2.2 Profundidad y Diámetro de la Perforación del Pozo

Las limitaciones en disponibles de equipo de perforación hacen que sea necesario evaluar qué tan profundo y qué tan anchos pueden ser las perforaciones. Típicamente, en América Latina un pozo a 20 m de profundidad y 60 cm de diámetro es factible.

Generalmente, los pozos de biogás están diseñados para tener un mínimo de 6 m de tubería sólida desde la superficie del relleno sanitario hacia abajo. Después de esto, se perfora el resto de la tubería para permitir que el gas fluya hacia la tubería para la recuperación. Si las secciones perforadas son colocadas a profundidades menores 6 m desde la superficie del relleno sanitario, entonces la presión de succión inducido sobre el pozo podría introducir cantidades excesivas de aire (específicamente oxígeno) dentro de los desechos y podría causar una condición de oxidación de los desechos o incendio subterráneo.

La base de los pozos de gas deberá mantenerse a una distancia mínima de 3 m por arriba del sistema de recubrimiento inferior para evitar la penetración durante la instalación/perforación del pozo. Antes de la construcción, se deberán de verificar cuidadosamente las elevaciones de la base del relleno sanitario actual contra el diseño del pozo para asegurarse de que las elevaciones mostradas en el diseño estén correctas. Si se desconoce con mucha certeza la elevación de la base del relleno sanitario, el ingeniero deberá de incrementar los 3 m de amortiguamiento entre el sistema de recubrimiento inferior y el fondo del pozo según sea apropiado.

6.6.2.3 Radio de Influencia

Los factores que influyen en el RI de un pozo incluyen la profundidad del pozo, la longitud de la tubería ranurada provista para la recuperación de biogás y la cantidad de presión de succión aplicada al pozo. El movimiento de biogás a través de los desechos básicamente es el movimiento de un fluido a través de un medio poroso.

La intersección de los RI de dos pozos adyacentes se llama traslape. El grado al cual los RI de todo el campo de pozos se cruzan se llama el factor de traslape. Un rango de traslape de 15-20% es recomendable provee una cobertura razonable del área del relleno sanitario que requiere control sin sobreestresar el relleno sanitario con la instalación de demasiados pozos. Debido a que el sistema en este relleno sanitario podría ser usado para la generación de energía, se estableció el máximo RI permitido a 40 m (2.85 veces el largo de la tubería perforada) para asegurar una cobertura de pozos conservadora.

Al momento que el SCRB alcance su fase final, el campo de pozos consistirá en 67 pozos de extracción vertical. Los pozos deberán ser instalados y extendidos en 3 fases diferentes.

6.6.3 Diseño de Pozo de Extracción

6.6.3.1 Construcción del Pozo

Después de que se ha alcanzado la profundidad del diseño, se rellenará el orificio con 30 cm de grava. Las secciones perforadas o ranuradas de la tubería podrán ser bajadas al orificio. Cuando se haya alcanzado el largo de la tubería perforada o ranurada se agregarán secciones sólidas hasta que la tubería sea elevada arriba de la superficie de la tierra.

Luego se centrará la tubería en el orificio y se agregará grava en la parte de afuera hasta que haya alcanzado la profundidad que indican los planos. Luego se agrega el relleno de tierra y un tapón de bentonita, así como se puede ver en los planos hasta que el relleno llegue a la superficie del relleno

sanitario. El orificio deberá tener un ligero sobrellenado y compactado para ayudar a minimizar el asentamiento en el área del pozo, lo que podría resultar en el estancamiento de agua alrededor del pozo.

Por último, el pozo está temporalmente tapado hasta que se conecte a la tubería principal. Esto evita emisiones de biogás en la atmósfera. Después de que se haya llevado la tubería principal al pozo, se instalara la cabeza del pozo. En el Apéndice C se puede ver un detalle típico mostrando la construcción del pozo de extracción.

6.6.3.2 Tubería del Pozo

La tubería del pozo será de PEAD (SDR-11) con un diámetro de 150 mm. Este material ha probado ser compatible con materiales para rellenos sanitarios de manera que pueda resistir la corrosión ya que tiene una buena resistencia química. Provee la suficiente flexibilidad de manera tal que el pozo tendría menos probabilidades de rajarse durante un asentamiento del relleno sanitario. El PEAD también funciona adecuadamente bajo las temperaturas generadas dentro de los rellenos sanitarios. La capa de grava o de roca triturada consistiría en material no-calcareo (las rocas calcáreas se pueden disolver parcialmente cuando están expuesta a lixiviados o a humedad del relleno sanitario).

6.6.3.3 Cabeza del Pozo

El diseño de la cabeza del pozo deberá de permitir monitoreo y control del sistema. Los puertos de muestreo deberán permitir mediciones de presión diferencial para el cálculo de los valores del flujo de gas en cada pozo independiente. La cabeza del pozo deberá contener una válvula que permita regular de la presión de succión que se aplique al sistema. Los puertos de muestreo deberán estar ubicados estratégicamente para que se pueda medir la calidad del biogás en el pozo. Una sonda permanente de para la temperatura deberá ser colocada en el pozo para medir las temperaturas del biogás. Se conecta una manguera flexible al pozo para poder permitir el asentamiento diferencial entre el pozo y la tubería lateral o principal. En los planos conceptuales se pueden ver un detalle de una cabeza de pozo prefabricada. Las cabezas de pozos fabricadas en el campo podrían ser una opción siempre que provean un medio adecuado para medir todos los parámetros manifestados anteriormente. Adicionalmente, durante el diseño final, se deberá de examinar el tamaño de la cabeza del pozo para determinar si se debe de seleccionar una cabeza de pozo más grande (hasta 76 mm en vez de 50 mm) para permitir mayores flujos de gas. La Figura 9 muestra una cabeza de pozo de biogás típica.



Figura 9. Cabeza de Pozo de biogás

6.6.4 Diseño de Tuberías Principal y Laterales

El siguiente paso en el diseño del SCRB es establecer una ruta para que la línea principal y laterales puedan conectar con cada uno de los pozos de biogás dentro del sistema y transportar el biogás recolectado a un lugar central para su destrucción y/o utilización. Después de que el ingeniero de diseño haya establecido el sistema de tuberías más eficiente para la recolección de biogás desde los pozos de extracción, la tubería principal deberá ser diseñada apropiadamente para transportar el máximo flujo de gas esperado. En esta sección se han comentado los criterios típicos de diseño, el método típico para diseñar y construir la tubería principal.

6.6.4.1 Pendiente del Tubería Principal

Todas las tuberías principales propuestas que están afuera de los límites de los desechos fueron diseñadas para tener una pendiente de no menos de 0.5% en terrenos naturales hacia cada cárcamo de condensado. Debido a que las tuberías principales estarían sobre tierra en la mayoría del Sitio, cualquier asentamientos o desniveles serían mucho más fáciles de divisar y corregir. Además, se deberá colocar la tubería principal dentro de los límites de desechos con una pendiente mínima de 3% ya que los asentamientos diferenciales en el relleno sanitario son comunes.

6.6.4.2 Dimensionamiento de la Tubería Principal

La velocidad del gas deberá ser aproximadamente 12.0 m/seg cuando el flujo del gas coincida con el flujo de condensado. En el caso del que el flujo de gas este a contracorriente con el flujo de condensado, la velocidad sería de aproximadamente 6.0 m/seg. Las condiciones de flujo dentro de cualquier segmento de la línea principal no deberán exceder los límites de la velocidad de manera consistente. Un tamaño insuficiente de la tubería principal puede causar pérdidas excesivas de presión a lo largo del sistema, lo que reduce la eficiencia de la recuperación del gas. En algunos casos, la tubería sería sobredimensionada para proveer caminos alternativos para el gas; en estos casos, las velocidades podrían ser aún menores que la directriz antes mencionada. Una tubería principal de 305 mm de diámetro será suficiente para realizar el flujo máximo de biogás.

6.6.5 Construcción de la Tubería Principal

La tubería principal propuesta para la instalación es la tubería de PEAD. La tubería PEAD es ideal, debido a su compatibilidad con el biogás y los desechos, su flexibilidad (si ocurriera un asentamiento), su estabilidad de largo plazo y su excelente resistencia química. La tubería sería unida por fusión y sería colocada sobre la superficie (excepto en cárcamos de condensado, trampas y en cruces de caminos). Deberán de usarse barras de refuerzo de acero o algún otro método para evitar que la tubería se mueva debido a la expansión y contracción asociada con los cambios de temperatura. Todas las tuberías deberán ser probadas herméticamente a presión y se deberán de reparar cualquier filtración antes de que la tubería entre en servicio. En todos los cruces de caminos la tubería deberá estar protegida por una sección de tubería de metal corrugado u otro tipo de material adecuado. La tubería protectora debería ser dos veces más amplia que la tubería de gas.

Las válvulas de control están ubicadas a lo largo de la tubería principal del SCRB. Las válvulas pueden cerrar manualmente la succión aplicada en una sección en particular de la tubería principal. Esto permite que partes del campo de pozos sean aislados para efectos de monitoreo y mantenimiento.

6.6.6 Manejo de Condensado

Una vez que han sido diseñados los pozos y tubería principal de SCRB, el siguiente paso en el proceso de diseño es ubicar las estructuras de gestión/almacenamiento de condensados. El condensado de gas es producido durante su recuperación y transporte. El condensado deberá ser eliminado en puntos bajos especialmente diseñados en la tubería principal para impedir que la tubería se obstruya del flujo del gas. La alineación de tubería principal está diseñada para usar el alivio vertical proporcionado por los contornos del relleno sanitario para el flujo de gravedad del condensado. Las técnicas de gestión del condensado a

nivel conceptual están provistas en las siguientes subsecciones. Debería notarse que como diseño a nivel conceptual cualquier sistema final deberá estar totalmente diseñado antes de la construcción para asegurar una eficiente recuperación y gestión de condensados.

El diseño conceptual incluye nueve sumideros de condensados ubicados en puntos estratégicos en la tubería principal, para simplificar la gestión de condensados en el propuesto relleno sanitario especialmente diseñado, Un cárcamo adicional (para hacer un total de diez) se incluirá en lo que sería el punto bajo de todo el sistema, fuera del relleno sanitario en una estación de succión y quemado. Este cárcamo recolectará el condensado final antes de que el gas entre al eliminador de condensado y la estación de succión y quemado. También se puede usar para recolectar drenajes del dispositivo de control y el eliminador de condensado. La bomba en este sumidero podrá ser neumática o eléctrica. Los planos conceptuales (ver Apéndice C) muestran la línea de descarga de esta bomba como que fuera instalada en la zanja de la tubería principal hasta que esté a 30 m después del punto alto de la tubería principal, y en ese punto descarga hacia la tubería principal y fluye hacia una trampa de condensados. Esta tubería de descarga deberá ser de doble contención.

Una opción que se podría explorar sería descargar el condensado desde los cárcamos hasta el área principal de los lixiviados que entonces transportaría los lixiviados a los tanques de almacenamiento de lixiviados antes de su tratamiento. Esto podría ser más barato que usar una tubería de condensados especialmente dedicada.

6.6.7 Equipo de Control

6.6.7.1 Equipo de Succión

El SCRБ deberá estar diseñado para manejar los índices de flujo de gas esperados desde toda el área del relleno sanitario propuesto para garantizar el control, sobre el período de uso previsto del equipo de SCRБ. Debido a que el equipo de succión es responsable de proveer el vacío que actualmente extrae el gas del campo de pozos y lo transporta a través del sistema, es sumamente importante tener el diseño correcto. Típicamente se requieren sistemas que tienen dos o más equipos de succión redundantes. Se necesitará determinar el tamaño apropiado y el número de equipos de succión para la configuración del sistema final. La Figura 10 muestra el arreglo típico de una estación de soplación con cárcamo de condensado.



Figura 10. Estación de soplación y cárcamo de condensado típica

El equipo de ventilador deberá de proporcionar un vacío uniforme sobre una amplia gama de velocidades de flujo ya que los volúmenes de gas van a variar durante la vida del SCRБ. En el diseño final, se deberá de configurar para acomodar los flujos máximos y mínimos que necesitarían manejar dichos ventiladores.

Además de poder movilizar el flujo de biogás recolectado por el sistema, el ventilador deberá ser capaz de suministrar suficiente presión negativa para superar las caídas de presión y resistencia a través de la

tubería y equipo a la tasa máxima de flujo de gas, así como suministrar suficiente presión positiva para la entrega del gas recolectado hacia el dispositivo de control para la combustión.

Se requeriría que el equipo de ventilador manejara la tasa de flujo máxima esperada de gas de 1,500 m³/hr en base a las proyecciones de los escenarios de baja recuperación, al momento de la construcción de la fase final del sistema general. El número, la configuración y tipos de ventiladores serán determinados durante el diseño actual de construcción, ya que necesitará ser compatible con los requisitos del dispositivo de control.

6.6.7.2 Dispositivo de Control

La última consideración en el diseño del SCRB es el dimensionamiento y selección del dispositivo de control de biogás. El dispositivo de control puede ser un quemador de flama abierta o encerrada, instalaciones de generación de energía que usan la combustión del biogás para generar electricidad, o una combinación de estas opciones. Se prevé que se implementará el proyecto de generación de energía eléctrica. La Tabla 23 presenta los requerimientos para los dispositivos de control, de la estación de succión y quemado y el tamaño de planta de energía eléctrica recomendada que debería ser considerado al nivel conceptual.

Tabla 23. Tamaño Propuesto de la Planta de Energía y Equipo de Control

Años de Operación	Escenario de Recuperación Baja		Escenario de Recuperación Media		Escenario de Recuperación Alta	
	Tamaño Rec. de Planta (MW)	Bomba de Succión/Queumador (m ³ /hr)	Tamaño Rec. de Planta (MW)	Bomba de Succión/Queumador (m ³ /hr)	Tamaño Rec. de Planta (MW)	Bomba de Succión/Queumador (m ³ /hr)
2023	0.5	350	0.6	500	0.8	550
2024	0.5	350	0.6	500	0.8	550
2026	0.5	350	0.6	500	0.8	550

Cualquier dispositivo de combustión (flama encerrada o motores de generación de energía) deberá ser seleccionado para reducir los compuestos orgánicos volátiles en por lo menos un 98% de peso, o reducir la concentración de salida de estos compuestos a menos de 20ppmV, base seca, como hexano a 3% de oxígeno. Esta eficiencia de reducción debería ser establecida por un ensayo de rendimiento inicial no menos de 180 días después del inicio del arranque. Es crítico que la configuración del dispositivo de control pueda cumplir con todos los requisitos a los índices de flujo máximo anticipado de 1,500 m³/hr. Debido a que el SCRB del relleno sanitario propuesto es construido por fases, el dispositivo de control deberá ser cuidadosamente considerado en todo momento los flujos máximos y mínimos que pueda recibir. La Figura 11 muestra una torcha de flama encerrada típica.



Figura 11. Torcha de Flama Encerrada

Por último, el dispositivo de control deberá estar equipado para recibir todas las pruebas, monitoreo, necesidades de reportes y registros de manera adecuada. Típicamente, estas necesidades incluyen el monitoreo del flujo y temperatura para todos los dispositivos encerrados de combustión, un marcador automático para cuando el sistema no está disponible y equipo para el monitoreo de la calidad de biogás para la generación de energía. Nuevamente, este aspecto del sistema deberá ser diseñado y especificado cuidadosamente durante el diseño final antes de la construcción.

La Tabla 24 provee una lista y cantidades de los principales materiales y equipos del proyecto. Estos componentes fueron estimados en base al escenario de recuperación baja de biogás y en una programación propuesta para la instalación/expansión del SCRB. En el Apéndice C se encuentran los planos del diseño conceptual para el SCRB.

Tabla 24. Lista de los Principales Elementos de Diseño de SCRB

ELEMENTO	Fase I 2023	Fase II 2024	Fase III 2026
Pozo de extracción vertical	32	20	15
Tubería principal (m)	800	380	365
Tubería lateral (m)	1000	430	550
Cárcamo de condensado	3	1	0
Válvula de aislamiento	5	2	0
Brida ciega	2	2	0
Cruce de caminos	2	1	0

6.6.8 Proyecto de Generación de Energía Eléctrica

Basado en las proyecciones de generación y recuperación de biogás un proyecto de generación de energía eléctrica (LFGE) de 0.6 MW es sostenible bajo el escenario de rango medio desde el 2024 hasta el 2030. El escenario de rango medio es conservador y se puede lograr con una buena operación y mantenimiento adecuado del SCRB.

El costo de inversión de un proyecto LFGE es de aproximadamente USD 2.5 millones/MW, más un costo adicional, dependiendo del punto de interconexión. Por lo tanto, a 0.6 MW, el proyecto costará aproximadamente USD 1.5 millón más el costo de interconexión a la red. Este estudio no investigó el punto de interconexión y se necesitarán realizar estudios adicionales para estimar ese costo.

La Figura 12 ilustra la recolección y procesamiento de biogás y muestra los posibles usos finales del biogás incluyendo usos industriales/institucionales, artes, manualidades, gas por gaseoducto y combustible para vehículos.

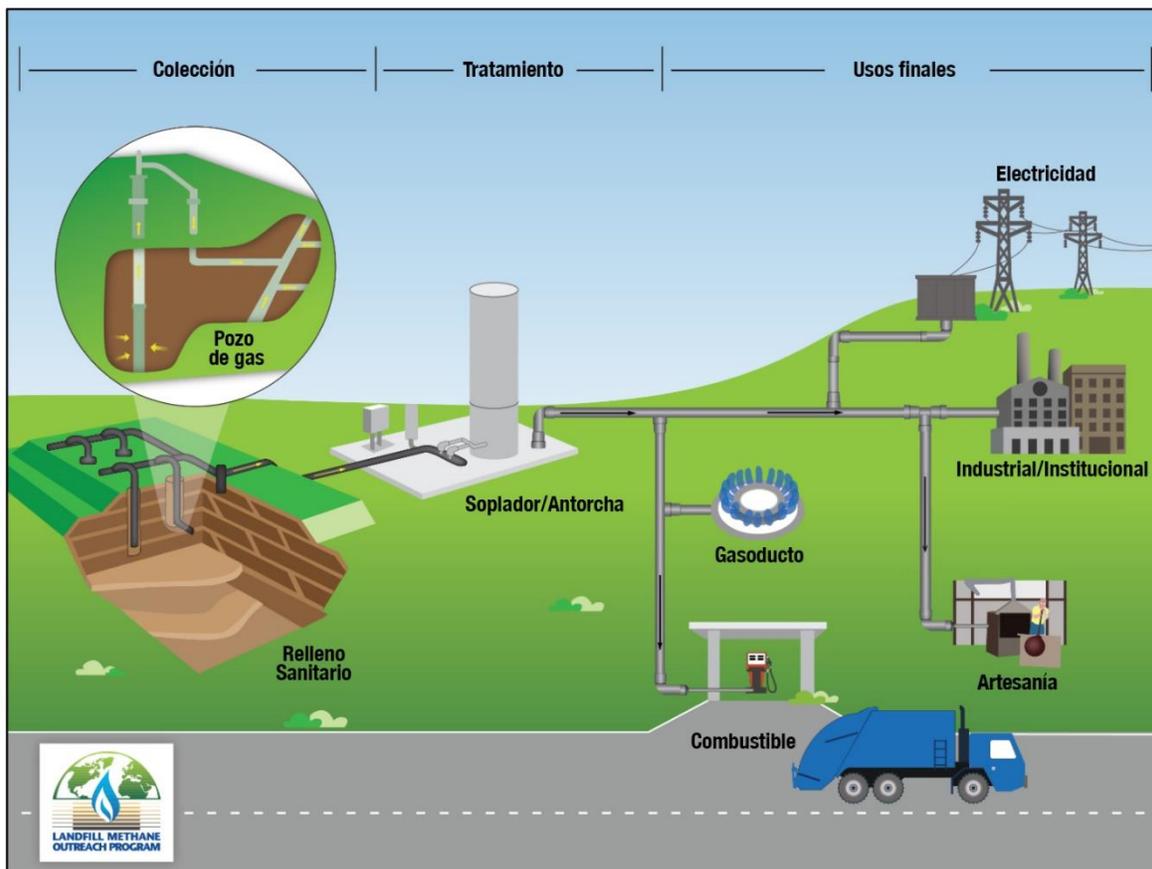


Figura 12. Recuperación, Procesamiento y Energía

6.7 Monitoreo

Se recomienda monitoreo del relleno sanitario y el medio ambiente durante las operaciones y después de su clausura para preservar su integridad. El monitoreo deberá de consistir de:

- Monitoreo de las agua subterránea y biogás.
- Inspecciones y mantenimiento de la cobertura final antes y después de la clausura.

Un programa de monitoreo específico del sitio para agua subterránea y biogás deberá ser implementado para el relleno sanitario propuesto a lo largo de las operaciones del relleno sanitario y del período de post-cierre, que típicamente es de 30 años. El programa debe monitorear el agua subterránea y superficial en el Sitio semi-anualmente y verificar que el relleno sanitario esté funcionando según lo previsto, así como proveer un sistema de alerta temprana en el evento improbable de un descargo. En el caso de encontrar contaminación en el agua subterránea y superficial, se determinaría la acción a tomar en ese momento,

en base al alcance y concentración de descarga. Se mantendrán copias de todas las pruebas e informes de monitoreo en el registro operativo del Sitio.

Sera necesario determinar los parámetros de monitoreo de aguas subterráneas, frecuencias de muestreo y requerimientos de reportes del plan de monitoreo de aguas subterráneas del Sitio y que deberán ser seguido por los técnicos que están conduciendo el monitoreo. Los pozos de monitoreo de aguas subterráneas identificadas allí requerirán de muestreo durante las operaciones del relleno sanitario y durante el período de post-cierre.

Cada vez que se tomen las medidas del nivel del agua, o se recolecta una muestra de agua subterránea, se inspeccionará la integridad del pozo de monitoreo. Se hará y se guardará dentro del registro operativo del Sitio, un registro de cada inspección. La siguiente información sería registrada durante cada inspección:

- Verificar la identificación del pozo y asegurarse que está claramente marcado.
- Verificar la cubierta protectora por cualquier daño o corrosión.
- Verificar los sellos de la superficie de concreto en caso de cualquier rajadura.
- Verificar el cierre de la cubierta.
- Ver la cubierta del pozo y verifique si hay daños.

En caso de detectar algún daño, se va a reparar el pozo; si no es posible repararlo, se reemplazará antes del siguiente evento de muestreo programado.

Cada trimestre se realizará la inspección del sistema de cobertura final. Consistirá en un estudio de campo del sistema completo de la cobertura final. Asuntos que deben ser notados por el inspector incluyen, pero no están limitados a, asentamientos, hundimientos y señales de erosión. Después de cada inspección, se hará un registro en un formulario de inspección y se archivará en libro de registros del post cierre del Sitio, en relación con la condición de la cobertura final y de los puntos que requieren reparación o mantenimiento. Las áreas que requiere más atención deberán ser fotografiadas y delineadas en un mapa de las instalaciones y anexadas al reporte de inspección. Debido a que el personal de inspección de post-cierre probablemente cambiara durante el período de post-cierre, el libro de registros de post-cierre deberá ser mantenido en formato estandarizado en los registros operativos para que personal de inspección nuevo pueda revisar los resultados de las inspecciones de post-cierre previas.

Se deberán de tomar acciones inmediatas para abordar cualquier punto de preocupación identificado durante la inspección. Se deberán de llevar a cabo las reparaciones obvias de aquel ítem y estos deberán de contar con la supervisión del gerente de mantenimiento de post-cierre.

Se espera que el mantenimiento requerido para la cubierta final sea mínimo. La cubierta vegetal deberá recibir mantenimiento según sea requerido.

6.7.1 Monitoreo de Agua Subterránea

El programa de monitoreo deberá de supervisar el agua subterránea mediante la toma de muestras en los pozos instalados y las pruebas de laboratorio para los componentes detallados en la Tabla 25. El monitoreo de aguas subterráneas deberá realizarse periódicamente y se deben de guardar los registros.

Tabla 25. Monitoreo de Detección de Componentes de Agua Subterránea

Nombre Común	CAS RN
Antimonio	(Total)
Arsénico	(Total)
Bario	(Total)
Berilio	(Total)
Cadmio	(Total)
Cromo	(Total)
Cobalto	(Total)
Cobre	(Total)
Plomo	(Total)
Níquel	(Total)
Selenio	(Total)
Plata	(Total)
Talio	(Total)
Vanadio	(Total)
Zinc	(Total)
Acetona	67-64-1
Acrilonitrilo	107-13-1
Benceno	71-43-2
Bromoclorometano	74-97-5
Bromo diclorometano	75-27-4
Bromoformo; tribromometano	75-25-2
Disulfuro de carbono	75-15-0
Tetracloruro de carbono	56-23-5
Cloro benceno	108-90-7
Cloroetano; cloruro de etilo	75-00-3
Cloroformo; triclorometano	67-66-3
Dibromoclorometano; clorodibromometano	124-48-1
1,2-dibromo-3-cloropropano; DBCP	96-12-8
1,2-dibromoetano; dibromuro de etileno; EDB	106-93-4
o-diclorobenceno; 1,2-diclorobenceno	95-50-1
p-diclorobenceno; 1,4-Diclorobenceno	106-46-7
trans-1,4-Dicloro-2-buteno	110-57-6
1,1-dicloroetano; cloruro de etileno	75-34-3
1,2-dicloroetano; dicloruro de etileno	107-06-2
1,1-dicloroetileno; 1-1-dicloroetano; cloruro de vinilo	75-35-4
cis-1,2-dicloroetileno; cis-1,2-dicloroetano	156-59-2
trans-1,2-dicloroetileno; trans-1,2-Dicloroetano	156-60-5
1,2-dicloropropano; dicloruro de propileno	78-87-5
cis-1,3-dicloropropeno	10061-01-5
trans-1,3-dicloropropeno	10061-02-6
Etilbenceno	100-41-4

Tabla 25. Monitoreo de Detección de Componentes de Agua Subterránea

Nombre Común	CAS RN
2-hexanone; metilbutilcetona	591-78-6
Bromuro de metilo; bromometano	74-83-9
Cloruro de metilo; clorometano	74-87-3
Bromuro de metilo; dibromometano	74-95-3
Cloruro de Metileno; diclorometano	75-09-2
Metiletilcetona MEK; 2-Butanona	78-93-3
Yoduro de metilo; Iodometano	74-88-4
4-Metil-2-pentanona; metil isobutil isobutil cetona	108-10-1
Estireno	100-42-5
1,1,1,2-tetracloroetano	630-20-6
1,1,2,2-tetracloroetano	79-34-5
Tetracloroetileno; percloroetileno	127-18-4
Tolueno	108-88-3
1,1,1-tricloroetano; metilcloroformo	71-55-6
1,1,2-tricloroetano	79-00-5
Tricloroetileno; tricloroetano	79-01-6
Triclorofluorometano; CFC-11	75-69-4
1,2,3-tricloropropano	96-18-4
Acetato de vinilo	108-05-4
Cloruro de vinilo	75-01-4
Xileno	1330

Fuente: USEPA, 40 CFR Parte 258, Subparte E.

6.7.2 Monitoreo de Biogás

El programa de monitoreo deberá de incluir monitoreo periódico de biogás dentro de la propiedad del relleno sanitario propuesto. El monitoreo deberá estar diseñado para identificar posibles migraciones de biogás afuera de la propiedad del relleno sanitario propuesto, o si existen concentraciones que exceden el límite explosivo más bajo dentro de la propiedad.

Se deberán de realizar mediciones trimestrales en todas las estructuras cerradas y alrededor del relleno sanitario propuesto mediante el monitoreo de la calidad del gas en las sondas del biogás instaladas. La Figura 13 muestra a un técnico usando un analizador portátil que se encuentra sujetado a la cabeza de pozo para medir la calidad del biogás. El nivel de detección para la migración del gas metano en el límite de la propiedad, es de 15% por volumen y 5% por volumen dentro de cualquier estructura cerrada.

Si se detectan excesos de metano en las estructuras y/o dentro de los límites de la propiedad, se deberán de tomar acciones correctivas para proteger la salud y seguridad humana. Se deberán de mantener los registros de estos eventos de monitoreo, además de todas las acciones correctivas que se han tomado para mitigar el problema.



Figura 13. Monitoreo de biogás

7.0 Estimaciones de Costos

El costo del proyecto fue estimado usando costos para proyectos similares desarrollados por SCS en los EUA y en el exterior. También se usaron los costos típicos publicados por la EPA y la Iniciativa Global de Metano (GMI). A continuación, se detallan las fuentes que se utilizaron:

- Calculadora de Costos de Sistemas de Recuperación de Biogás (desarrollado y mantenido por SCS) usando el costo de los proyectos de construcción.
- *Análisis de Impacto Económico para las Normas de Fuentes Nuevas de Funcionamiento*, Tabla 2-4, “Costos Típicos de los Componentes de un Relleno Sanitario Costo por Acre,” junio del 2014.
- *Manual para el Desarrollo de Proyectos de Energía Usando Biogás de Rellenos Sanitarios*, Sección 4, Sección Economía y Financiamiento de Proyectos, Tabla 4-3, “Tecnologías para Proyectos de Energía.”

7.1 Plan de Conversión/Expansión del Relleno Sanitario Propuesto

En la Tabla 26, se han resumido la estimación de costos para construir las diferentes fases del relleno sanitario propuesto. La estimación de costos detallada se provee en Apéndice D.

Tabla 26. Resumen de Costos del Plan de Conversión/Expansión

Ítem	Total de Costo de Capital (USD)	Fase I Celda 1-2 (USD)	Fase II Celda 3 (USD)	Fase III Celda 4 (USD)	Fase IV Celda 5 (USD)
Movimiento de suelos	\$ 3,390,566	\$ 944,948	\$ 667,045	\$ 1,234,140	\$ 544,434
Geosintéticos	\$ 435,040	\$ 120,380	\$ 76,060	\$ 141,380	\$ 97,220
Gestión de aguas pluviales	\$ 53,420	\$ 40,350	—	\$ 12,500	\$ 570
Gestión de lixiviados	\$ 1,364,600	\$ 1,151,480	\$ 67,875	\$ 17,510	\$ 127,735
Misceláneos	\$ 1,695,126	\$ 1,118,695	\$ 181,479	\$ 194,166	\$ 200,786
Subtotal	\$ 6,938,752	\$ 3,375,853	\$ 992,459	\$ 1,599,696	\$ 970,744
5% contingencia	\$ 346,938	\$ 168,793	\$ 49,623	\$ 79,985	\$ 48,537
Costo total de construcción	\$ 7,285,689	\$ 3,544,646	\$ 1,042,082	\$ 1,679,680	\$ 1,019,282
Costo por ha	\$ 788,495				

Los costos se presentan en USD y están basados en los costos promedio en el sureste de los EUA.

7.2 Cierre

En la Tabla 27 se han resumido la estimación de costos para la construcción de un sistema de cobertura final del relleno sanitario propuesto. La estimación de costos detallada se presenta en Apéndice D.

Tabla 27. Resumen del Costos de Cierre

Ítem	Costo Estimado (USD)
Movimiento de suelos	\$ 884,088
Geosintéticos	\$ 1,282,989
Gestión de aguas pluviales	\$ 454,229
Misceláneos	\$ 392,491
Subtotal de costo de construcción	\$ 3,014,838
5% contingencia	\$ 150,742
Costo total de construcción	\$ 3,165,580
Costo por ha	\$ 342,595

Los costos se presentan en USD y están basados en los costos promedio en el sureste de los EUA.

7.3 SCRB

Se han proporcionado la estimación de costos para la construcción de SCRB para el diseño conceptual propuesto y fueron desarrollados en base a los costos promedio de proyectos similares en los EUA. La Tabla 28 resume la estimación de costo por fase del proyecto.

Tabla 28. Resumen de Costos del SCRB por Fase

Ítem	Fase I 2023	Fase II 2024	Fase III 2026
Ingeniería	\$ 35,000	\$ 35,000	\$ 35,000
Movilización	\$ 6,500	\$ 6,500	\$ 6,500
Pozo de extracción vertical	\$ 340,480	\$ 212,800	\$ 159,600
Tubería principal (m) 300mm Ø	\$ 96,432	\$ 45,805	\$ 43,997
Tubería lateral (m) 12mm Ø	\$ 42,189	\$ 18,141	\$ 23,204
Cárcamo de condensados	\$ 61,425	\$ 20,475	—
Válvula de aislamiento	\$ 19,688	\$ 7,875	—
Brida ciega	\$ 1,000	\$ 1,000	—
Cruce de caminos	\$ 1,800	\$ 900	—
Estación de succión y quemado (550 m ³ /hr)	\$ 356,000	-	—
Subtotal	\$ 960,514	\$ 348,496	\$ 268,301
Contingencia 5%	\$ 48,026	\$ 17,425	\$ 13,415
Total	\$ 1,008,539	\$ 365,921	\$ 281,716

Los costos se presentan en USD y están basados en los costos promedio en el sureste de los EUA.

7.4 Post-cierre

Se estimaron los costos relacionados con el cuidado del sistema de cobertura final, la gestión del biogás y lixiviado, el monitoreo ambiental y el cuidado general de las instalaciones existentes relleno sanitario propuesto. En la Tabla 29 se ha resumido la estimación de costos de post-cierre y cuidado general de las instalaciones existentes para un período de 30 años y se han proporcionado en mayor detalle en el Apéndice D.

Tabla 29. Resumen de los Costos de Post-cierre

Ítem	Costo Anual (USD)	Costo de 30-Años (USD)
Administración y gestión de registros	\$ 5,000	\$ 150,000
Monitoreo de agua subterránea	\$ 14,400	\$ 432,000
Monitoreo de gas metano	\$ 840	\$ 25,200
Corte de la vegetación	\$ 428	\$ 12,825
Mantenimiento de la cobertura final	\$ 523	\$ 15,675
Gestión de agua pluvial	\$ 300	\$ 9,000
Gestión de lixiviado	\$ 8,378	\$ 251,334
Gestión de biogás	\$ 38,667	\$ 1,160,000
Inspecciones del relleno sanitario	\$ 10,000	\$ 300,000
Costo anual	\$ 78,536	
Costo por un periodo de 30-años		\$ 2,356,034

Los costos se presentan en USD y están basados en los costos promedio en el sureste de los EUA.

8.0 Guía de Contratación e Inversión

8.1 Contratando con el Sector Privado

A nivel mundial, las autoridades han desarrollado diferentes modelos de contratación para el desarrollo, construcción y operación de los rellenos sanitarios. La Municipalidad tendría que tomar la decisión final sobre el tipo de contrato(s) usado para estos propósitos, en base a las condiciones económicas locales específicos, la capacidad técnica de las autoridades locales, y los planes y metas generales para el manejo del RS. Esta sección introduce brevemente los tipos de contratos y acuerdos más comunes para el desarrollo, construcción y gestión de rellenos sanitarios. En el Apéndice A se encuentra una lista de recursos de contratación.

8.1.1 Concesión

Las concesiones son un tipo de contrato donde una empresa privada o consorcio es seleccionado a través de un proceso competitivo para proveer los servicios por pago de honorarios. La empresa privada financiaría el desarrollo del relleno sanitario y conservaría la propiedad de los bienes por el periodo del contrato; la Municipalidad sería responsable de pagar una cuota de disposición previamente negociada por cada tonelada de desechos dispuesta en el relleno sanitario. Generalmente, la cuota se establece de manera para que la compañía recupere la depreciación de su inversión, genere suficiente retorno de inversión y cubra los costos de O&M.

Existen muchos tipos de acuerdos de concesión que podrían cumplir con las metas de la Municipalidad. Los dos principales son:

- **Construcción, Posesión, Explotación y Traspaso (CPET).** Después de que finalice el período de concesión, será requisito de la entidad privada transferir la posesión del sitio a la Municipalidad.
- **Construcción, Posesión, Operación.** Similar a CPET, pero la posesión no sería transferida al final del período de concesión; la entidad privada seguirá siendo la propietaria del Sitio.

8.1.2 Contrato de Diseño y Construcción

En lugar de hacer un acuerdo de concesión para los servicios de desarrollo y operación, la Municipalidad podría contratar con diferentes entidades privadas y con contratos separados, el desarrollo y manejo del relleno sanitario propuesto:

- Una compañía de ingeniería y construcción (o consorcio) sería contratada para diseñar y construir el relleno sanitario. Excavarían los desechos del vertedero existente e implementarían un plan de cierre y correctivo para el vertedero existente.
- Al final del contrato, la Municipalidad tendría un relleno sanitario operando que ha sido construido con normas internacionales y un sitio rehabilitado donde anteriormente ocurrían prácticas de vertido de desechos a cielo abierto. Podría operar como un relleno sanitario o entrar en un contrato de servicio separado con una compañía para operar y administrar el relleno sanitario.

8.1.3 Contratos de Servicio para la Administración del Relleno Sanitario

Varios tipos de contratos de servicios cubren la administración de los rellenos sanitarios y asignan esta responsabilidad a una entidad privada. El tipo de contrato depende del nivel de riesgo financiero, operativo y técnico que la Municipalidad está dispuesta a tomar y el nivel de responsabilidad que transferiría al contratista. Los tipos más comunes de contratos de servicio para la administración de los rellenos sanitarios son:

- **Contrato de O&M.** La entidad privada proporcionaría toda la mano de obra, supervisión, equipo, materiales, suministros y otros ítems necesarios para O&M del relleno sanitario. En el día a día, el O&M estaría bajo la responsabilidad del contratista y también podría incluir el cierre de las celdas del relleno sanitario que ya no están en uso. Para la duración del contrato, la Municipalidad pagaría una cuota de vertedero por tonelada de RS desechada, en base a una tasa negociada.
- **Acuerdo de Alquiler y Operaciones.** La compañía privada alquilaría el relleno sanitario de la Municipalidad pagando una cuota mensual de alquiler. La Municipalidad se reservaría el derecho de disponer los RS en el relleno sanitario; el contratista no tendría permiso de aceptar desechos de otras fuentes, al menos que la Municipalidad lo autorice. La entidad privada también podría asumir la responsabilidad de la construcción del relleno sanitario, seguido por la O&M diaria y finalmente la clausura del relleno sanitario.
- **Acuerdo de Sede.** La compañía privada sería responsable del diseño, construcción y O&M del relleno sanitario. Las condiciones del acuerdo permitirían que la compañía acepte RS para su disposición de otras fuentes además de la Municipalidad, con reembolso en la forma de una cuota para la comunidad anfitriona basado en la cantidad de RS que sean dispuestos. La Municipalidad tendría la prioridad de usar espacio en el relleno sanitario para disposición y se reservaría el derecho de disponer de todos los tipos de desechos permitidos. Sería responsable de pagar una cuota al contratista privado por el RS dispuesto.

Estos ejemplos de los tipos de contratos pueden ser adaptados de acuerdo con las necesidades y metas de la Municipalidad. También pueden incluir disposiciones para el contratista de proveer el servicio de recolección de desechos, servicio de barrido de calles o cualquier otro servicio relacionado con la gestión integral de desechos sólidos. Durante el desarrollo del contrato, es importante definir correctamente el período y tiempo del contrato. Se pueden alcanzar menores costos con términos del contrato que sean lo suficientemente largos para permitir que el contratista privado recupere la depreciación de los gastos de capital de ciertos equipos e instalaciones. Generalmente, los contratos tienen una duración de entre 20 a 30 años con opciones de prórroga.

8.2 Procesos de Licitación

Para identificar a un contratista privado, la Municipalidad deberá de conducir un análisis de las capacidades y debilidades de contratar a una compañía privada para el desarrollo de un relleno sanitario y la O&M. Los pasos generales de este proceso se encuentran detallados en la Figura 14 y explicados en más detalle a continuación.



Figura 14. Proceso para la Privatización de un Relleno Sanitario

1. El primer paso de este proceso es desarrollar una evaluación completa del sistema actual de manejo de RS, incluyendo las opciones disponibles de disposición. Esta evaluación deberá de incluir un entendimiento de las partes individuales del sistema (por ejemplo, recolección de desechos, reciclaje, disposición, etc.) y los costos asociados con cada uno de ellos. Esto permitiría que la Municipalidad entienda el alcance de los servicios necesarios de parte del contratista privado, identificar el nivel de riesgo y responsabilidad que la Municipalidad está lista para tomar y decidir cuáles responsabilidades pueden ser transferidas al contratista privado.
2. Después de que se haya completado la evaluación inicial del sistema actual, se debería de ejecutar un estudio de prefactibilidad para examinar los impactos de la privatización del relleno sanitario. Este estudio de factibilidad produciría un análisis en relación con el nivel de esfuerzo requerido por la Municipalidad y el impacto económico que estos cambios tendrían sobre la población que tendría que pagar por el sistema mejorado. En última instancia, el estudio de prefactibilidad le ayudaría a la Municipalidad a definir el alcance del trabajo requerido de parte del contratista privado y los costos asociados.
3. Una vez que la Municipalidad ha decidido proceder con la contratación de servicios para la administración del relleno sanitario, y basado en el alcance de los servicios a ser asignados al

contratista, Será necesario desarrollar criterios de calificación para identificar compañías con experiencia capaces de proveer los servicios solicitados. Para ello, la Municipalidad deberá publicar una solicitud de expresión de interés y calificación para informar a las compañías privadas acerca de sus necesidades e invitarlas a enviar sus propuestas.

4. Cuando se hayan identificado las compañías calificadas, serán invitadas a enviar sus propuestas técnicas y económicas a través de una solicitud de propuestas formal. Además del alcance de los servicios, la documentación de la solicitud de propuesta deberá de incluir los requisitos de desempeño, criterios de evaluación y un sistema de puntuación. Deberá de incluir la mayor cantidad de información posible acerca del Sitio, la cantidad de desechos que necesitan ser manejados, el estado actual del sistema y las mejoras necesarias para que los posibles proponentes puedan desarrollar sus propuestas correctamente. Durante este proceso es muy importante permitir suficiente tiempo para que las compañías interesadas puedan desarrollar propuestas adecuadas y completas.
5. La Municipalidad deberá de organizar una reunión previa a la propuesta para las compañías calificadas, ofrecer una visita al sitio y tener los materiales relevantes disponibles como por ejemplo planos y dibujos del sitio.
6. Las propuestas recibidas de las compañías calificadas deberán ser revisadas y calificadas contra los criterios de evaluación según se han publicado en la solicitud de propuesta, tanto para los enfoques técnicos como los económicos. Criterios de calificación uniformes deberían de proveer fácil identificación de las mejores propuestas.
7. Idealmente, por lo menos se deberán de identificar tres propuestas como finalistas y de esa manera pueden iniciar las negociaciones de contrato. También es posible tener otros mecanismos, como el de una sola adjudicación.
8. Una vez negociadas y acordadas las condiciones del contrato entre las dos partes, se firma el contrato.
9. El contratista procede con la movilización al Sitio (por ejemplo, construcción y operación).
10. Durante el período del contrato, es muy importante que la Municipalidad tenga mecanismos establecidos para el monitoreo continuo y la aplicación del contrato, así como el desempeño del contratista para asegurarse que las condiciones y servicios acordados sean honrados y cumplidos. La Municipalidad también puede contratar a un consultor de ingeniería externo o identificar a personas dentro del personal existente para realizar este tipo de monitoreo y evaluación.

8.2 Oportunidades de Inversión de Proyectos

Esta sección provee una lista inicial de posibles socios financieros que pueden proporcionar apoyo financiero para el desarrollo del proyecto. Las oportunidades incluyen fondos para contrataciones, asistencia técnica y servicios para préstamos, garantías de préstamos, etc.

1. **Corporación Andina de Fomento (CAF)** está enfocado únicamente en América Latina y provee servicios financieros para proyectos de desarrollo sostenible e integración regional. El medio ambiente y el cambio climático es una de sus áreas de interés; apoya los proyectos de transformación viendo hacia economías de bajo carbono. Provee apoyo de diferentes tipos incluyendo financiamiento, asistencia técnica, desarrollo de capacidades y proyectos de estructuración. CAF ha firmado un acuerdo de acreditación con el Fondo Verde para el Clima que permite que los países latinoamericanos tengan mejor acceso a los fondos de GSF. (<https://www.caf.com/en/topics/e/environment-and-climate-change/climate-change/?parent=33004>).

2. **Coalición para Aire Limpio y Clima (CCAC por sus siglas en ingles).** La Municipalidad ya ha trabajado con CCAC, y pueden existir oportunidades para explorar la evaluación de la conducción de un proyecto de relleno sanitario especialmente diseñado. Ejemplos de los tipos de apoyo que ofrece CCAC se pueden encontrar en <http://www.waste.ccacoalition.org/>.
3. **Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF por sus siglas en ingles).** Los fondos GEF están disponibles para países en desarrollo y países con economías en transición, para que puedan cumplir sus objetivos de convenciones y acuerdos ambientales internacionales. El apoyo de GEF es provisto para agencias gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, compañías del sector privado, e instituciones de investigación – entre la amplia diversidad de posibles socios – para implementar proyectos y programas en países receptores (<https://www.thegef.org/>). El cambio climático es uno de los cuatro temas principales de GEF; y además GEF provee apoyo para el cambio a una economía de bajo carbono (<https://www.thegef.org/topics/climate-change>).
4. **Banco Interamericano de Desarrollo (BID).** La visión del BID es ver a una región con ciudades limpias, capaces de proveer servicios integrados para el manejo de desechos sólidos para toda la población, adaptadas a las realidades locales, sostenibles desde el punto de vista ambiental y económico y socialmente inclusivo. Caminando hacia esa meta es que la Iniciativa de Agua y Saneamiento ha creado un grupo especializado para la gestión de los desechos sólidos y ha establecido un programa de largo plazo para apoyar a las actividades del BID en el sector (<https://www.iadb.org/en/residuosolidos>). El BID provee diferentes tipos de mecanismos de financiamiento y se puede encontrar más información en el siguiente enlace: <https://www.iadb.org/en/about-us/overview>.
5. **Agencia de Comercio y Desarrollo de los Estados Unidos (USTDA por sus siglas en ingles).** USTDA otorga fondos de subvención para patrocinadores de proyectos en el exterior para una serie de actividades, incluyendo asistencia técnica, programas de capacitación y estudios de análisis/factibilidad para inversiones tempranas. USTDA responde a prioridades establecidas por los mismos patrocinadores de proyectos. Si fuera necesario, USTDA puede ayudar a los patrocinadores de proyectos para que definan sus prioridades.
 - a. La Iniciativa de Contratación Mundial. Entendiendo Relación Óptima Costo-Calidad, se dedica a ayudar a funcionarios públicos en economías emergentes a que tengan un mejor entendimiento del costo total de propiedad de bienes y servicios para proyectos de infraestructura (<https://www.ustda.gov/program/global-procurement-initiative-0>). Este programa puede ser útil Durante el desarrollo del enfoque de la contratación y la toma de decisiones sobre el tipo de contratación que será más benéfica para el proyecto.
 - b. La República Dominicana se ha asociado con USTDA para promover el planteamiento de la Iniciativa de Contratación Mundial; como parte del programa, 80 funcionarios gubernamentales asistieron a una capacitación y pueden proveer asistencia a las municipalidades locales (<https://www.ustda.gov/news/press-releases/2018/ustda-partners-government-dominican-republic-promote-value-based>).
6. **Banco Mundial.** El Banco Mundial financia y asesora en proyectos de gestión de desechos sólidos usando un conjunto diverso de productos y servicios, incluyendo préstamos tradicionales, financiamientos basados en resultados, política de financiamiento al desarrollo y asesoría técnica. Los proyectos de gestión de desechos, financiados por el Banco Mundial abarcan todo el ciclo de vida de los desechos – desde la generación a la recolección, al transporte y finalmente tratamiento y disposición.
 - a. El Programa de Financiamiento Climático provee financiamiento para hacer la transición a bajos niveles de carbono, economía mundial resistente al clima. Hay fondos disponibles para el desarrollo de infraestructuras en países en desarrollo y de renta media. (<http://www.worldbank.org/en/topic/climatefinance#1>).

- b. La Corporación Financiera Internacional provee oportunidades de financiamiento para el sector privado y puede ser usado por el posible contratista para financiar el relleno sanitario especialmente diseñado y SCR.B. (https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/CORP_EXT_Content/IFC_External_Corporate_Site/Solutions/).
- c. La Alianza Global de Ayuda Basada en Resultados, provee soluciones innovadoras de financiamiento para proporcionar acceso a servicios básicos como agua, saneamiento, energía y educación en salud para comunidades marginadas. (<http://www.gpoba.org/>)

Apéndice A: Lista de Recursos Técnicos y Contratación

1. **Manual de Protocolo de Construcción Nuevos Rellenos Sanitarios con Recubrimientos Compuestos.** Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Sistema de Integración Centroamericana (SICA), and Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), 2010.
2. **Manual de Protocolo de Operación Nuevos Rellenos Sanitarios para Desechos Sólidos.** USAID, SICA, CCAD, 2010.
3. **Guía de Referencia de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Utilizados en Centro América.** B. Henry, S. Oakley, L. Salguero, P. Saravia, J. M. Vásquez; USAID, Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental (USEPA), SICA, CCAD, Tratado de Libre Comercio Centroamérica República Dominicana–Estados Unidos (CAFTA-DR).
4. **Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales.** Eva Röben DED/Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, Ecuador, 2002.
5. **Manejo Responsable de los Tubos Fluorescentes.** USAID, SICA, and CCAD, 2010.
6. **Manejo Responsable de los Residuos Electrónicos.** USAID, SICA, and CCAD, 2010.
7. **Manejo Responsable de las Pilas Secas.** USAID, SICA, and CCAD, 2010.
8. **Guía de Cierre Técnico, Monitoreo y Seguimiento de un Sitio de Disposición Final, Dirigida a las Autoridades Ambientales y Municipales,** Carlos Eduardo Meléndez Avalos, CCAD, 2008.
9. The **International Solid Waste Association (ISWA) and Solid Waste Institute for Sustainability** creó el [ISWA Winter School](#) para participantes que pudieran estudiar los retos específicos de la gestión de desechos sólidos en economías en desarrollo. El Winter School se lleva a cabo en un relleno sanitario especialmente diseñado (Ciudad de Denton, Texas) y mezcla la instrucción de salón de clases con aprendizaje práctico en el campo. Existen becas para candidatos calificados.
10. La **Iniciativa Mundial de Metano (GMI)** es un socio público-privado internacional incluyendo a la República Dominicana que promueve la reducción costo-efectivo de metano en el corto-plazo y recuperación y uso de metano como una fuente de energía limpia en biogás (incluyendo la agricultura, desechos sólidos municipales y aguas residuales) minas de carbón y sistemas de petróleo y gas. GMI tiene muchos recursos, herramientas y materiales útiles de desechos. <https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw>
11. **CCAC Iniciativa Municipal de Desechos Sólidos (CCAC MSWI)** es una iniciativa internacional que promueve acciones de parte de los gobiernos a nivel nacional, estatal y local para evitar y reducir las emisiones de metano mediante el desvío de los desechos orgánicos de los rellenos sanitarios, que incluye también evitar y reducir los desechos alimenticios y asociados con el sector privado. CCAC tiene muchos recursos, herramientas y materiales útiles de desechos. <http://www.waste.ccacoalition.org/tool>
12. **Guía Internacional de Mejores Prácticas para Proyectos de Conversión de Gas de Vertederos a Energía.** USEPA, 2012. Esta guía provee una perspectiva general del desarrollo de proyecto de conversión de gas de vertederos a energía, incluyendo las consideraciones tecnológicas, económicas y políticas que pueden afectar el éxito del proyecto. <https://globalmethane.org/sectors/technicalgroup.aspx?s=msw>
13. **Manual para la Preparación de Proyectos de Conversión de Gas de Vertederos a Energía en América Latina y el Caribe.** Conestoga-Rovers and Associates, 2004. Este manual fue desarrollado para el Banco Mundial, para facilitar el desarrollo de la gestión LFG y proyectos de conversión de gas de vertedero a energía en América Latina y el Caribe. <http://documents.worldbank.org/curated/en/954761468011430611/Handbook-for-the-preparation-of-landfill-gas-to-energy-projects-in-Latin-America-and-the-Caribbean>

14. La **Herramienta de Evaluación del Proyecto de Gas de Vertedero** evalúa la factibilidad de un proyecto internacional de conversión de gas de vertedero a energía en un relleno sanitario en particular. <http://www.waste.ccacoalition.org/document/landfill-gas-project-screening-tool-version-2>.

Recursos del Sector Informal

1. **Mujeres en Empleos Informales: Globalizando y Organizando (WIEGO)** es una red global que se enfoca en asegurar los medios de vida de los trabajadores pobres, especialmente mujeres, en la economía informal. WIEGO provee recursos y publicaciones incluyendo videos y estudios de caso de todas partes del mundo. <http://www.wiego.org/>
2. **Sonia Dias acerca de la Economía Informal de los Recolectores de Desechos.** https://wastewise.be/2016/05/sonia-dias-on-the-informal-economy-of-waste-pickers/#.W4_9G-hKjcs
3. **Tres Maneras sobre cómo los Recolectores de Desechos pueden ser Incluidos en la Nueva Economía Circular.** Sonia Dias, 2018. https://www.equaltimes.org/three-ways-waste-pickers-can-be?lang=en#.W4_-hOhKjcs

Recursos de Inversión y Contractuales y Muestras de Contratos

1. [International Environmental Finance Tools](#). USEPA, 2011.
2. **Mejores Prácticas de Administración para Participación Privada en Aumento en Servicios Municipales de Desechos Sólidos.** CCAC, 2015. <http://www.waste.ccacoalition.org/document/best-management-practices-increasing-private-participation-municipal-solid-waste-services>.
3. **Manual para Ciudades para Acceder a Financiamiento para Proyectos Municipales de Desechos Sólidos.** Jeremy Gorelick (ISWA). 2017. <http://www.waste.ccacoalition.org/document/primer-cities-accessing-financing-municipal-solid-waste-projects>.

Apéndice B: Reporte Geotécnicó HC SA

Apéndice C: Planos del Diseño Conceptual

Apéndice D: Resultados del Modelo de Biogás

Apéndice E: Estimación de Costos de Construcción del Relleno Sanitario Propuesto

Apéndice F: Ejemplos de Sistemas de Bombeo Eléctricos Sumergibles