

www.pwc.com/pe

Nota Conceptual Trujillo, Perú

Octubre 2018

Versión completa



Contenidos

1. Resumen Ejecutivo	4
2. Línea de Base General	5
2.1. Contexto	5
2.2. Área de Interés	5
2.3. Aspectos Climáticos y Ambientales	6
2.4. Aspectos Económicos relevantes	7
2.4.1. Principales Actividades Económicas	7
2.4.2. Análisis del Entorno Económico	8
3. Situación Actual de la Gestión de Residuos Sólidos (RRSS)	9
3.1. Generación de RRSS municipales	9
3.2. Composición de RRSS municipales	10
3.3. Procesos clave en la Gestión de Residuos Sólidos (RRSS)	11
3.3.1. Recolección y Transporte	11
3.3.2. Disposición Final	12
3.4. Propuesta de Solución	12
3.4.1. Relleno Sanitario	12
3.4.2. Alternativas Tecnológicas de reducción de emisiones	16
4. Criterios de Selección y niveles de clasificación	17
4.1. Análisis de Alternativas	17
4.1.1. Puntuación de alternativas	18
5. Alternativas de Tecnologías	19
5.1. Alternativa 1: Captura y quema centralizada de biogás	19
5.1.1. Explicación conceptual de la tecnología	19
5.1.2. Optimización de Costo	19
5.1.3. Nivel de Riesgos	19
5.1.4. Idoneidad y flexibilidad	19
5.1.5. Reducción de Emisiones de GEI	20
5.1.6. Impacto y replicabilidad	20
5.1.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado	20
5.1.8. Resultado del Análisis	20
5.2. Alternativa 2: Generación de Energía Eléctrica del Biogás como Energía Renovable	21
5.2.1. Explicación conceptual de la tecnología	21
5.2.2. Optimización de Costo	21
5.2.3. Nivel de Riesgos	22

5.2.4. Impacto y replicabilidad	22
5.2.5. Reducción de Emisiones de GEI	22
5.2.6. Idoneidad y flexibilidad	22
5.2.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado.....	22
5.2.8. Resultado del Análisis.....	22
5.3. Alternativa 3: Generación de Energía mediante Gasificación RSU	23
5.3.1. Explicación conceptual de la tecnología.....	23
5.3.2. Optimización de Costo	23
5.3.3. Nivel de Riesgos	24
5.3.4. Impacto y replicabilidad	24
5.3.5. Reducción de Emisiones de GEI	24
5.3.6. Idoneidad y Flexibilidad	24
5.3.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado.....	24
5.3.8. Resultado del Análisis.....	25
6. Evaluación de las Opciones de Tecnología	26
6.1. Puntaje de cada Alternativa de Tecnología	26
6.1.1. Selección de Alternativa	26
6.2. Decisión de la Alternativa más adecuada	26
7. Similitudes con otros lugares	27
7.1. Replicabilidad	27
7.2. Arequipa	28
7.3. Lambayeque	28
7.4. Piura.....	28
8. Conclusiones	29
Anexos	30

1. Resumen Ejecutivo

El objetivo del presente documento es analizar opciones de inversión en infraestructura para la disposición final de Residuos Sólidos (RRSS) y tecnologías de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI). En este sentido, como parte del análisis se considera el efecto de programas de valorización de residuos en los volúmenes finales que llegan a la disposición final, sin embargo, nuestro análisis no incluye una revisión de estos programas. El análisis se enmarca en la situación actual de la gestión de residuos sólidos municipales en la provincia de Trujillo, región de la Libertad, Perú.

El análisis de este documento se centra en un proyecto de infraestructura de disposición final de RRSS común para diez (10) distritos de la región de La Libertad, los cuales fueron agrupados estratégicamente por el Ministerio de Ambiente (MINAM) bajo un criterio de cercanía para la disposición final de sus RRSS.

La nueva Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Ley N° 27314, D.L. N°1278 y su reglamento indica que para infraestructuras de disposición final de RRSS de las dimensiones que implicaría este proyecto, se deben incluir tecnologías de reducción de GEI. En el presente documento analizamos y comparamos tres (03) tecnologías que tienen el potencial de ser implementadas en Trujillo. Para ello estimamos el potencial de reducción de emisiones de GEI tomando como base la información de generación de RRSS actual y esperada, así como los estudios de composición de residuos sólidos que se tiene disponible en el Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (PIGARS).

Además de las tecnologías de reducción de GEI, parte importante de nuestro análisis es la replicabilidad de la tecnología en otros lugares del Perú. Nuestro análisis basado en la realidad de en Trujillo puede servir como base para iniciar proyectos de este tipo en otras provincias con similares características climáticas y generación de residuos sólidos.

De este análisis esperamos obtener indicadores e información referencial de niveles de inversión, costos de operación, riesgos de implementación y reducción estimada de GEI para difundir entre actores privados relacionados al sector de RRSS. La inclusión de actores privados en este sector puede ser una eficiente solución a la problemática de gestión de la disposición final de RRSS municipales.

2. Línea de Base General

2.1. Contexto

Actualmente, la provincia de Trujillo se enfrenta al reto de disponer sus residuos sólidos de manera adecuada. La disposición de residuos sólidos se viene realizando desde 1989 en el botadero controlado “El Milagro”, el cual recibe cerca de 1,000 toneladas diarias de residuos sólidos. El volumen de residuos sólidos y la no existencia de infraestructura para la correcta disposición final de los residuos sólidos municipales para la Provincia de Trujillo representan una oportunidad de inversión interesante que podría ser abordada por algún inversionista privado con intereses en cubrir esta brecha.

El botadero “El Milagro” se encuentra ubicado a 12 kilómetros de la ciudad de Trujillo y tiene una extensión de aproximadamente 58 hectáreas. Se trata de un botadero a cielo abierto en el cual se realizan algunas actividades de compactación y quema de residuos sólidos, lo que genera emisión de olores y vapores tóxicos. Muy cerca del lugar se encuentra el Centro Poblado El Milagro, en el cual viven alrededor de 1,000 familias que subsisten principalmente de la segregación y comercialización de los residuos sólidos reciclables que recolectan del botadero.

La Municipalidad Provincial de Trujillo (en adelante la Municipalidad) ha venido trabajando para dar solución al problema y enfrentar el reto de implementar una disposición final óptima. Así, ha conseguido que el Gobierno Regional le done un terreno de 67 hectáreas para la construcción de un relleno sanitario con las condiciones adecuadas para la disposición final de los residuos sólidos. Dicho terreno cuenta en la actualidad con un estudio de selección de sitio, así como con un certificado de inexistencia de restos arqueológicos. Por ello, nuestro análisis tomará como punto de partida el desarrollo de un relleno sanitario en el mencionado terreno. No se considera la opción de analizar opciones de reducción de emisiones en el botadero “El Milagro”, ya que no se cuenta con estudios de composición de residuos en el lugar por lo que no sería posible estimar las emisiones de GEI.

2.2. Área de Interés

El área de interés definida para este proyecto comprende 10 distritos del departamento de La Libertad, ubicado en la Costa Norte de Perú, que son los 10 distritos seleccionados por el Ministerio de Ambiente (MINAM) para realizar su disposición final en el nuevo terreno¹. De estos 10 distritos, 09 pertenecen a la provincia de Trujillo y 01, a la de Ascope. Estos son:

- | | |
|------------------------|-------------------|
| ▪ Trujillo | ▪ El Porvenir |
| ▪ Florencia de Mora | ▪ Huanchaco |
| ▪ La Esperanza | ▪ Laredo |
| ▪ Moche | ▪ Salaverry |
| ▪ Víctor Larco Herrera | ▪ Santiago de Cao |

Se incluye el distrito de Santiago de Cao (provincia de Ascope) por dos razones: cercanía al lugar de disposición final y cantidad de residuos sólidos generados por su población. Este análisis considera que estos 10 distritos que actualmente disponen la totalidad de sus residuos en el botadero controlado “El Milagro”, deberán continuar dirigiendo sus residuos al nuevo relleno sanitario, dado el criterio de cercanía antes mencionado. De esta manera, el nuevo relleno sanitario puede maximizar su impacto social y ambiental, al atender a la mayor cantidad de distritos ubicados en sus alrededores dando adecuado tratamiento a todos los residuos que terminan en el botadero “El Milagro”.

La figura N° 01 muestra en el mapa los 10 distritos comprendidos en el ámbito de estudio y la ubicación del nuevo relleno sanitario.

¹ 9 Distritos de Trujillo de acuerdo a la Ordenanza Municipal N° 010-2007-MPT, y 1 distrito de Ascope (Santiago de Cao)

Fig. N° 01: Distritos incluidos en el área de interés del proyecto



Fuente: Google Earth

De acuerdo con los resultados del Censo 2017 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Trujillo es la cuarta provincia más poblada del país con una tasa de crecimiento anual promedio de 1.8%, estimada durante el periodo 2007 a 2017. La tabla N° 01 muestra la población beneficiaria del proyecto de acuerdo al censo 2017.

Tabla N° 01: Población beneficiaria – Nuevo Relleno Sanitario Trujillo

Distritos	Población 2017
Trujillo	314,939
El Porvenir	190,461
La Esperanza	189,206
Huanchaco	68,409
Víctor Larco Herrera	68,506
Florencia de Mora	37,262
Laredo	37,206
Moche	37,436
Salaverry	18,944
Santiago de Cao	19,204
Total	981,573

Fuente: INEI Censos Nacionales 2017: XII de población y VII de vivienda²

2.3. Aspectos Climáticos y Ambientales³

Las características ambientales, como temperatura y precipitaciones son factores determinísticos para la viabilidad del proyecto, ya que influyen en la generación de GEI en el relleno sanitario; además, también es información útil para tomar medidas preventivas en la operación del relleno sanitario. Para la caracterización del clima, se utilizó la información provista por la estación meteorológica de Huanchaco (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial, en adelante CORPAC) por ser la más cercana al proyecto (12km aproximadamente).

² <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

³ <http://www.corpac.gob.pe/app/Meteorologia/TRClimatologicas/Tablas.html>

La tabla N° 02 muestra la temperatura y precipitaciones anuales medias en Trujillo.

Tabla N° 02. Temperatura y precipitación en Trujillo

Mes	Media de las temperaturas mínimas diarias (°C)	Media de las temperaturas máximas diarias (°C)	Media de las temperaturas diarias (°C)	Precipitación total media (mm)
Ene	19	25	22	5
Feb	21	26	23.5	6
Mar	20	26	23	7
Abr	19	25	22	8
May	18	23	20.5	4
Jun	18	23	20.5	0
Jul	17	22	19.5	0
Ago	17	21	19	0
Sep	17	21	19	2
Oct	17	22	19.5	3
Nov	17	23	20	3
Dic	18	24	21	3
Total	18.2	23.4	20.8	41

Fuente: CORPAC y Weather Spark⁴

En líneas generales, la ciudad de Trujillo posee un clima seco con una temperatura promedio anual de 20.8°C, y una precipitación media anual de 41mm;

Cabe resaltar que en estos últimos años se están apreciando cambios en la estacionalidad, temperatura y precipitaciones; los cuales, si bien ocurren con mucha frecuencia, son poco usuales en estas zonas.

Por otro lado, de acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (en adelante SENAMHI) la tasa de evapotranspiración para Trujillo es de 48.8mm.

2.4. Aspectos Económicos relevantes

2.4.1. Principales Actividades Económicas⁵

Para el marco de nuestro estudio, nos enfocaremos en la descripción de las actividades económicas que se desarrollan en la provincia de Trujillo.

- **Actividad Agrícola**

La provincia de Trujillo es principalmente agrícola, debido a las áreas de producción que dispone.

La implementación del Proyecto Especial Chavimochic, el cual provee irrigación a los valles de Chao, Virú, Moche y Chicama, impulsó la producción agrícola, logrando la exportación de muchos productos agrícolas y agroindustriales al exterior del país.

La extensión de la agricultura irrigada provocó un crecimiento expansivo, en especial sobre el cultivo de caña de azúcar. De igual manera, entre los principales productos de exportación destacan los espárragos.

⁴ <https://es.weatherspark.com/y/19239/Clima-promedio-en-Trujillo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>

⁵ http://www.upao.edu.pe/trujillo/?mod=mod_vitr&task=288

- **Manufactura**

En el sector destaca la industria del calzado, la cual abarca curtiembres, fabricantes de calzado y otros derivados del cuero. Está compuesto principalmente por micro y pequeñas empresas, que se caracterizan por demandar abundante mano de obra y bienes intermedios.

Formalmente registra 1,300 pymes (pequeñas y medianas empresas), las que aportan un significativo 11% al sector. Han logrado posesionar sus productos en el mercado nacional y caracterizar a Trujillo como una ciudad fabricante de calzado. Tiene la particularidad de haber conformado un conglomerado o "clúster" industrial, característica que le brinda una dinámica de producción y comercialización propia.

- **Comercio**

El departamento de La Libertad registra 19,859 establecimientos dedicados a la actividad comercial. El 70% se encuentra en la provincia de Trujillo, 6% en la Provincia de Ascope, 5% en Chepén, 5% en Pacasmayo y el 14 % restante en las demás Provincias. De los 13,900 establecimientos de la provincia de Trujillo, el 65% se ubican en el distrito de Trujillo.

De los establecimientos comerciales, 12,963 se dedican al comercio, servicios automotores y reparaciones diversas, 2,101 al sector manufacturero y 4,795 a otras actividades. De las 47,000 personas que están laborando en estos establecimientos, 19,270 se ubican en el sector manufacturero (41 %), 13,630 en comercio (29 %), 2,350 en restaurantes y hoteles (5%) y 11,750 en otras actividades (25%).

Estas cifras nos permiten tener una idea más amplia del impacto que tienen estos comercios en la generación de residuos sólidos urbanos. Estos comprenderán principalmente materia orgánica, como resultado del comercio de alimentos y restos de restaurantes y servicios; pero una importante fracción será producto de la actividad manufacturera.

2.4.2. Análisis del Entorno Económico

Una de las alternativas tecnológicas bajo análisis contiene un componente de generación de energía eléctrica a partir de captura de gas metano. Por ello, es oportuno analizar el contexto cercano al relleno, con el objetivo de identificar potenciales demandantes de energía, así como competidores.

Hemos identificado dos empresas industriales relevantes cerca a la ubicación del nuevo relleno. La más cercana es Postes del Norte, empresa dedicada a fabricar y comercializar postes de cemento que cuenta con dos plantas de producción en El Milagro. Luego, se encuentra la planta de Llamagás, en la cual se envasa gas para uso doméstico e industrial y es comercializado en la zona.

Ampliando el rango de búsqueda, hacia el distrito de La Esperanza, ubicamos el Parque Industrial La Esperanza, donde se encuentra Lima Gas, otro distribuidor importante de gas envasado. Además, también hemos podido identificar varias empresas que se dedican a diversas actividades industriales. Estas compañías podrían ser potenciales demandantes de energía producida en el relleno sanitario a partir de biomasa.

Destacan actividades como la de fabricación de carrocerías, con empresas como Metalbus, Factoría Bruce y Mebustrack SAC; fabricación de productos metálicos, A&G Industria Metal Mecánica SAC e Industrias Metálicas Pairazamán (fabrica también carrocerías); y fabricación de plástico como Eurotubo SAC.

Asimismo, se puede encontrar empresas dedicadas al rubro textil, como Trutex y varias otras dedicadas a curtiembre y manufactura de calzado, como es el caso de Curtiembre Cuenca, Curtiembre Ecológica del Norte y Pieles Industriales SAC, entre otras.

3. Situación Actual de la Gestión de Residuos Sólidos (RRSS)

3.1. Generación de RRSS municipales

La generación de residuos sólidos está íntimamente ligada al número de habitantes, el poder adquisitivo de la población, los hábitos de consumo y a las principales actividades económicas que existen en la Provincia de Trujillo.

La Generación per Cápita (GPC) promedio de los RRSS de los distritos seleccionados es de 0.53kg/hab/día⁶. Este dato se ha obtenido estimando el promedio ponderado de la generación domiciliaria de todos los distritos versus la población total. Dicho valor es menor al GPC nacional estimado en 0.55 Kg/hab/día⁷ al 2017. La información sobre la producción per cápita de cada distrito fue obtenida de los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos (ECRS).

Se considera un estimado de 30.7% de generación no domiciliaria y un 13.07% de generación de residuos por actividades de barrido siendo la generación total estimada para el proyecto de 933 toneladas al día aproximadamente y, al año, asciende a las 340,516 toneladas. La tabla N° 03 muestra la generación de residuos. Esta tabla solo incluye valores de generación, mas no del total de residuos que llegarían al relleno sanitario, pues falta descontar la fracción recuperada en programas de segregación, reciclaje y compostaje. Estos valores son incluidos en la tabla N° 05.

Tabla N° 03. Generación de Residuos Sólidos -Provincia de Trujillo

Distritos	Población 2017 (1)	Generación per cápita (kg/hab/día) (2)	Generación RRSS Domiciliarios (Ton/Día) (3)	Generación RRSS Comerciales (Ton/Día) (3)	Generación RRSS Barrido (Ton/Día) (3)	Generación RRSS (Ton/Día)
Trujillo	314,939	0.511	160.950	87.970	37.473	286.393
El Porvenir	190,461	0.560	106.658	58.296	24.833	189.786
La Esperanza	189,206	0.536	101.414	55.429	23.612	180.456
Huanchaco	68,409	0.640	43.782	23.930	10.193	77.905
Victor Larco Herrera	68,506	0.410	28.087	15.352	6.539	49.978
Florencia de Mora	37,262	0.570	21.239	11.609	4.945	37.793
Laredo	37,206	0.529	19.682	10.757	4.582	35.022
Moche	37,436	0.590	22.087	12.072	5.142	39.302
Salaverry	18,944	0.600	11.366	6.212	2.646	20.225
Santiago de Cao	19,204	0.470	9.026	4.933	2.101	16.061
TOTAL	981,573	0.53	524.29	286.56	122.07	932.92

Fuentes: (1) INEI⁸, (2) ECRS de cada distrito, (3) Estimación, estudio de mercado RRSS Trujillo,

Debido a que el proyecto del nuevo relleno sanitario en el terreno donado por el Gobierno Regional reemplazará al actual botadero controlado, este estudio considera que los residuos que actualmente se disponen en el botadero (932.92 toneladas diarias), serán dispuestos casi en su totalidad en el nuevo relleno sanitario desde que este sea abierto. Se asume que un porcentaje del total de residuos generados serán reciclados o compostados.

⁶ <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1601>

⁷ Estimación PwC

⁸ <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>

3.2. Composición de RRSS municipales

La composición de los residuos sólidos mostrada en la tabla N°04 toma como referencia los estudios de caracterización de residuos sólidos realizada por las diferentes municipalidades. Dicha información es importante para poder proyectar las cantidades retiradas en actividades de segregación y reaprovechamiento de materiales en la fuente. La tabla N°04 muestra la composición de los residuos sólidos de los 10 distritos considerados para este análisis donde se puede apreciar que el 52.07% es material orgánico.

Tabla N° 04: Composición de los Residuos Sólidos - Trujillo

	Trujillo	El Porvenir	La Esperanza	Huanchaco	Víctor Larco	Florencia de Mora	Laredo	Moche	Salaverry	Santiago de Cao	Promedio
Materia orgánica	53.56	46.94	50.1	72.17	30.55	53.56	52.8	58.63	53.88	53.23	52.07%
Madera, follaje	1.62	1.6	1.22	4.23	6.74	3.57	1.72	1.6	0.97	7.29	2.22%
Papel	2.6	3.07	2.01	2.34	9.51	2.15	2.62	4.75	3.51	3.06	3.01%
Cartón	3.02	2.97	1.64	0.86	3.65	3.77	2.91	2.64	5.25	1.23	2.62%
Vidrio	2.77	2.79	2.23	2.74	0.74	4.74	4.78	2.68	2.27	2.03	2.70%
Plástico PET	1.43	1.19	1.45	1.19	3.69	1.79	3.1	0.98	3.3	2.34	1.60%
Plástico duro	2.15	3.01	2.5	6.36	3.55	1.99	1.75	1.98	1.66	1.62	2.76%
Bolsas	7.45	7.14	1.21	1.19	0.83	0.62	6.32	3.2	5.75	2.96	4.67%
Tetra pack	0.6	0.84	0.18	0.32	1.85	0.46	0.83	0	0.62	0.45	0.58%
Tecnopor y similares	1.2	0	0.15	0.08	1.57	0.54	0.85	0.16	0.7	0.64	0.57%
Metal	1.8	1.03	3.05	0.36	6.51	1.88	1.42	1.75	1.35	1	1.97%
Telas, textiles	0.79	3.14	2.14	0.78	2.49	1.36	1.41	1.78	0.87	1.87	1.73%
Caucho, cuero, jebe	0.23	1.53	1.58	0.24	3.23	1.54	1.2	0.59	1.28	0.18	1.04%
Pilas	0.03	0.01	0.35	0.04	0.05	0.02	0.06	0.05	0.08	0.11	0.09%
Restos de medicina, focos, etc.	0.13	0.08	0.4	0.04	0.83	0.11	0.32	0	0.3	0.03	0.20%
Residuos sanitarios	12.54	7.88	8.61	7.06	15.74	6.97	7.89	9.92	8.25	7.48	9.82%
Residuos inertes	8.05	15.76	19.39	0	7.84	14.83	9.6	7.62	9.94	14.34	11.66%
Otros (especificar)	0.03	1.02	1.79	0	0.63	0.1	0.42	1.67	0.02	0.18	0.68%

Fuente: PIGARS Trujillo 2016-2020

Es sumamente importante conocer la composición de los residuos sólidos para poder estimar las emisiones de GEI y la generación de líquidos lixiviados que ocurren como consecuencia de la descomposición en el relleno sanitario.

3.3. Procesos clave en la Gestión de Residuos Sólidos (RRSS)

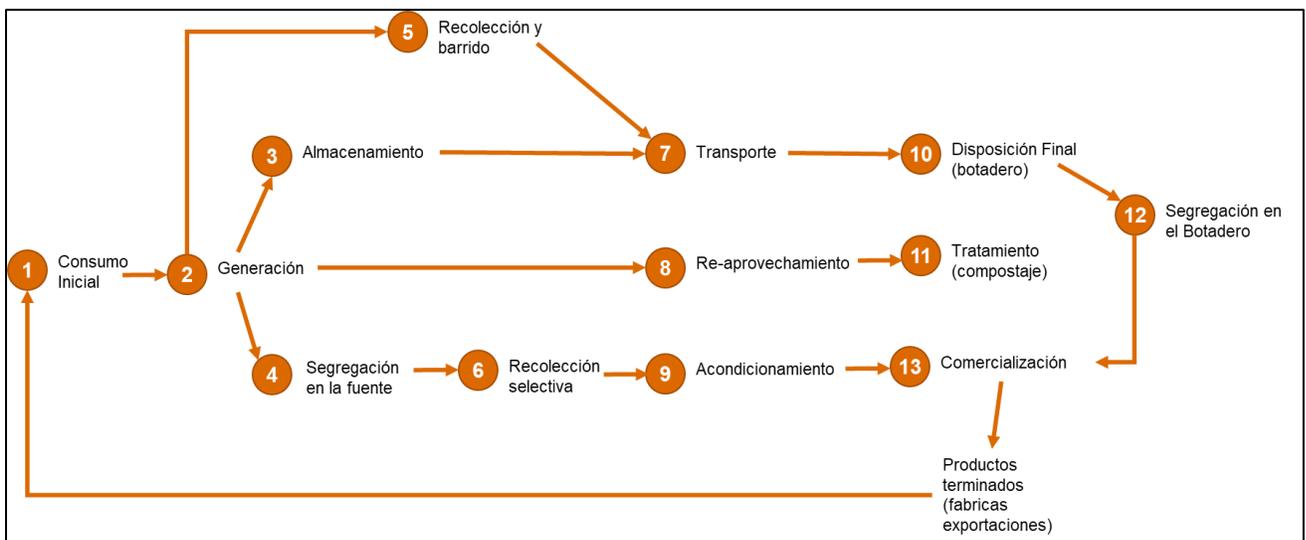
El alcance de este análisis es la disposición final de los residuos sólidos municipales. En este sentido, no analizamos los procesos de valorización de residuos, pero si consideramos el efecto de las actividades de segregación con fines de reciclaje y compostaje para estimar los volúmenes de RRSS que llegan a disposición final en el relleno sanitario, que es donde se genera el mayor volumen de GEL.

Los procesos que forman parte de la Gestión de RRSS municipales relevantes son los siguientes:

- Generación
- Almacenamiento
- Barrido
- Recolección
- Transporte
- Reciclaje
- Tratamiento
- Disposición Final

El gráfico N° 01 muestra una visión del flujo de los residuos sólidos en sus diferentes etapas, siendo la disposición final la etapa del proceso en las que se enfoca nuestro análisis.

Fig. N° 02. Flujo de los Residuos Sólidos en la Provincia de Trujillo



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentará una breve reseña de los procesos más relevantes al caso de estudio.

3.3.1. Recolección y Transporte⁹

El aspecto más importante en este punto es la cobertura del servicio, la cual es intensiva en zonas urbanas y de menor alcance en los lugares más alejados. La moda del nivel de cobertura del servicio es de 95%, que corresponde a 4 distritos: El Porvenir, Salaverry y Víctor Larco Herrera. Los dos valores más bajos son los de Florencia de Mora con 60% y Huanchaco y Laredo con 80%. Trujillo tiene un porcentaje de recolección

⁹ PIGARS Trujillo 2016-2020

casi perfecto con un 99%, mientras que el distrito de la Esperanza alcanza el 100% de cobertura para este servicio.

3.3.2. Disposición Final¹⁰

La disposición final de los residuos sólidos de los distritos mencionados en la tabla N° 01 se realiza en el Botadero Controlado “El Milagro”, sin recibir ningún proceso sanitario de por medio. Producto de esta situación la OEFA ha presentado dos denuncias al Ministerio Público y a la Contraloría Nacional¹¹.

De acuerdo con el reporte denominado Situación Actual del Botadero Controlado “El Milagro” elaborado por el SEGAT en agosto 2016, al botadero ingresan diariamente 1,061 toneladas/día de residuos de los cuales el 31% le corresponde a Trujillo; el 36% a otros distritos siendo el 28% residuos de construcción y 5% residuos vegetales de la poda de árboles. Estos datos son referenciales ya que no se cuenta con una balanza en sitio y se basa en estimaciones visuales.

El procedimiento habitual seguido por las municipalidades que no cuentan con infraestructura adecuada para la disposición final de los residuos es usar como botadero una zona alejada de los centros poblados más grandes hasta colmar su capacidad, para luego trasladar el proceso a otra zona. De esta forma se termina teniendo grandes acumulaciones de residuos sólidos en distintos lugares. Las siguientes fotografías muestran la condición insostenible del botadero controlado “El Milagro”.

Fotografías 01 y 02: Condiciones de operación del Botadero Controlado “El Milagro”



Fotografía N° 01: Residuos sólidos expuestos, quema no controlada de residuos

Fotografía N° 02: Presencia de gran cantidad de segregadores informales

3.4. Propuesta de Solución

3.4.1. Relleno Sanitario

Para dar solución a la situación actual se debe plantear una alternativa de solución para clausurar el botadero “El Milagro”. En ese contexto el Gobierno Regional ha donado a la municipalidad Provincial de Trujillo un terreno de 67 hectáreas para la construcción de un nuevo relleno sanitario, situación que tiene un estudio de selección de sitio, así como un certificado de inexistencia de restos arqueológicos: La figura N°03 muestra la ubicación del botadero “El Milagro” así como la del terreno para el nuevo relleno sanitario, que se encuentra aproximadamente a 4km de la ubicación del botadero.

¹⁰ Plan Regional de Saneamiento Ambiental – La Libertad

<http://sir.regionlalibertad.gob.pe/admin/docs/Plan%20Regional%20Saneamiento%20Actualizado%20-%20Enero%202012.pdf>

¹¹ <https://www.oeffa.gob.pe/noticias-institucionales/el-oeffa-interviene-por-la-inadecuada-disposicion-de-residuos-solidos-en-el-botadero-el-milagro-en-la-provincia-de-trujillo>

Fig. N° 03. Ubicación del Nuevo Relleno Sanitario Trujillo



Fuente: Google Earth

En este nuevo espacio se puede proyectar la construcción de un relleno sanitario que cumpla con los requisitos técnicos mínimos establecidos en el Reglamento de la Ley 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos respecto a la infraestructura de disposición final, condiciones de ubicación, instalaciones y operaciones mínimas en rellenos sanitarios. En específico bajo esta regulación un relleno sanitario con las características de volumen descritas en las secciones anteriores requiere la implementación de tecnología de captura y quema centralizada, así como la posibilidad de incluir actividades de valorización energética a través de uso de la biomasa para la generación eléctrica.

Es importante mencionar que, para que todas las estimaciones de generación y reducción de GEI se cumplan, es necesario que el relleno opere de manera óptima y controlada, para evitar que se generen problemas como los observados en “El Milagro”.

3.4.1.1. Estimación de Demanda y Cálculo de la Vida útil

La tabla N° 05, muestra una Proyección de demanda del Relleno Sanitario de residuos asumiendo que el relleno sanitario entraría en operación en el año 2019 (Ver supuestos utilizados en el Anexo 01). Con la aplicación de estos supuestos obtenemos para el año 2019 una demanda total de disposición final de relleno sanitario de 311,985 ton/año.

Tabla N° 05. Proyección de demanda del Relleno Sanitario -Provincia de Trujillo

N°	Año	Población Total (1)	GPC (kg/h/día) (2)	RRSS Domicilio (Ton/día) (3)	RRSS Comercial (Ton/día) (3)	RRSS Barrido (Ton/día) (3)	Generación RRSS Total (Ton/año) (4)	RRSS Reciclables (Ton/año) (5)	RRSS Compostables (ton/año) (5)	Demanda total de disposición final (ton/año) (6)
0	2019	1,017,977	0.545	555	301	127	358,603	28,688	17,930	311,985
1	2020	1,036,693	0.550	570	310	130	368,801	29,504	18,440	320,857
2	2021	1,055,761	0.556	587	318	134	379,291	30,343	18,965	329,983
3	2022	1,075,186	0.561	603	327	138	390,081	31,206	19,504	339,370
4	2023	1,094,977	0.567	621	337	142	401,180	32,094	20,059	349,026
5	2024	1,115,141	0.572	638	346	146	412,596	33,008	20,630	358,959
6	2025	1,135,684	0.578	657	356	150	424,340	33,947	21,217	369,176

Nº	Año	Población Total (1)	GPC (kg/h/día) (2)	RRSS Domicilio (Ton/día) (3)	RRSS Comercial (Ton/día) (3)	RRSS Barrido (Ton/día) (3)	Generación RRSS Total (Ton/año) (4)	RRSS Reciclables (Ton/año) (5)	RRSS Compostables (ton/año) (5)	Demanda total de disposición final (ton/año) (6)
7	2026	1,156,614	0.584	675	366	154	436,420	34,914	21,821	379,685
8	2027	1,177,939	0.590	695	377	158	448,846	35,908	22,442	390,496
9	2028	1,199,667	0.596	715	387	163	461,629	36,930	23,081	401,617
10	2029	1,221,805	0.602	735	398	167	474,778	37,982	23,739	413,057
11	2030	1,244,362	0.608	756	410	172	488,304	39,064	24,415	424,825
12	2031	1,267,345	0.614	778	421	177	502,219	40,177	25,111	436,930
13	2032	1,290,764	0.620	800	433	182	516,532	41,323	25,827	449,383
14	2033	1,314,627	0.626	823	446	187	531,257	42,501	26,563	462,194
15	2034	1,338,943	0.632	846	458	192	546,405	43,712	27,320	475,372
16	2035	1,363,721	0.638	870	471	198	561,988	44,959	28,099	488,929
17	2036	1,388,970	0.645	895	485	203	578,019	46,241	28,901	502,876
18	2037	1,414,699	0.651	921	499	209	594,511	47,561	29,726	517,224
19	2038	1,440,918	0.658	947	513	215	611,477	48,918	30,574	531,985
20	2039	1,467,637	0.664	975	527	221	628,931	50,314	31,447	547,170
21	2040	1,494,866	0.671	1,003	542	227	646,888	51,751	32,344	562,792
22	2041	1,522,615	0.677	1,031	558	234	665,362	53,229	33,268	578,865
23	2042	1,550,895	0.684	1,061	574	240	684,368	54,749	34,218	595,400
24	2043	1,579,716	0.691	1,091	590	247	703,922	56,314	35,196	612,412
25	2044	1,609,089	0.698	1,123	607	254	724,039	57,923	36,202	629,914
26	2045	1,639,026	0.705	1,155	624	261	744,737	59,579	37,237	647,921
27	2046	1,669,537	0.712	1,188	642	269	766,032	61,283	38,302	666,448
28	2047	1,700,635	0.719	1,222	660	276	787,942	63,035	39,397	685,509
29	2048	1,732,332	0.726	1,257	679	284	810,484	64,839	40,524	705,121
30	2049	1,764,639	0.733	1,294	699	292	833,678	66,694	41,684	725,300

Fuente: (1) Estimación, <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>, (2) Estimación, ECRS de los distritos (3) Estimación, estudio de mercado RRSS Trujillo, (4) Suma de RRSS domiciliario, comercial y barrido, (5) Estudio de mercado particular, (6) Generación total de RRSS menos volumen reciclable y volumen compostable (Ver Anexo 01 para detalle sobre los supuestos)

Esta proyección a 30 años se realiza con el objetivo de establecer una referencia para demostrar la demanda de disposición final, que posteriormente será utilizada para estimar el volumen ocupado (tabla N°06) y la vida útil del relleno (tabla N°07).

La tabla N° 06, muestra el requerimiento de volumen del nuevo relleno sanitario para satisfacer la demanda. Se usan los siguientes supuestos para las estimaciones: la densidad del residuo sólido compactado es de 0.55ton/m³; se establece una degradación de los residuos del orden del 6% anual que conlleva a una reducción gradual del volumen ocupado en el tiempo; se establece una altura de plataforma de 8 m y un espesor de material de cobertura de 60 cm.

Para el año 2019 los cálculos realizados establecen que el volumen ocupado sería de 348,070 m³ y al finalizar el año 30 el volumen ocupado sería de 19'783,033 m³.

Tabla N° 06: Volumen Demandado por los Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario

Nº	Año	Población Total (1)	RRSS Acumulado (ton/año) (2)	RRSS Compactados (m ³) (2)	RRSS Estabilizado (m ³) (2)	Altura plataforma RS (m)	Espesor Cobertura (m)	Material de Cobertura (m ³ /año) (3)	Volumen Total (m ³ /año) (4)	Volumen Ocupado Acumulado (m ³ /año)
0	2019	1,017,977	311,985	567,245	305,527	8.00	0.60	42,543	348,070	348,070
1	2020	1,036,693	632,842	583,376	314,215	8.00	0.60	43,753	357,969	706,039
2	2021	1,055,761	962,825	599,969	323,153	8.00	0.60	44,998	368,150	1,074,189
3	2022	1,075,186	1,302,195	617,037	332,346	8.00	0.60	46,278	378,623	1,452,812
4	2023	1,094,977	1,651,222	634,593	341,802	8.00	0.60	47,595	389,396	1,842,208
5	2024	1,115,141	2,010,181	652,652	351,528	8.00	0.60	48,949	400,477	2,242,686
6	2025	1,135,684	2,379,356	671,229	361,534	8.00	0.60	50,342	411,876	2,654,562
7	2026	1,156,614	2,759,042	690,337	371,826	8.00	0.60	51,775	423,601	3,078,163
8	2027	1,177,939	3,149,538	709,993	382,413	8.00	0.60	53,249	435,663	3,513,826
9	2028	1,199,667	3,551,155	730,213	393,304	8.00	0.60	54,766	448,070	3,961,895
10	2029	1,221,805	3,964,212	751,012	404,507	8.00	0.60	56,326	460,832	4,422,728
11	2030	1,244,362	4,389,036	772,408	416,031	8.00	0.60	57,931	473,961	4,896,689

Nº	Año	Población Total (1)	RRSS Acumulado (ton/año) (2)	RRSS Compactados (m³) (2)	RRSS Estabilizado (m³) (2)	Altura plataforma RS (m)	Espesor Cobertura (m)	Material de Cobertura (m³/año) (3)	Volumen Total (m³/año) (4)	Volumen Ocupado Acumulado (m³/año)
12	2031	1,267,345	4,825,967	794,418	427,886	8.00	0.60	59,581	487,467	5,384,156
13	2032	1,290,764	5,275,350	817,060	440,081	8.00	0.60	61,280	501,360	5,885,517
14	2033	1,314,627	5,737,543	840,352	452,626	8.00	0.60	63,026	515,653	6,401,170
15	2034	1,338,943	6,212,915	864,313	465,532	8.00	0.60	64,823	530,356	6,931,525
16	2035	1,363,721	6,701,845	888,963	478,809	8.00	0.60	66,672	545,481	7,477,006
17	2036	1,388,970	7,204,721	914,320	492,467	8.00	0.60	68,574	561,041	8,038,047
18	2037	1,414,699	7,721,945	940,408	506,518	8.00	0.60	70,531	577,048	8,615,095
19	2038	1,440,918	8,253,930	967,245	520,973	8.00	0.60	72,543	593,516	9,208,611
20	2039	1,467,637	8,801,100	994,855	535,844	8.00	0.60	74,614	610,458	9,819,069
21	2040	1,494,866	9,363,893	1,023,259	586,322	8.00	0.60	76,744	663,067	10,482,136
22	2041	1,522,615	9,942,757	1,052,481	641,560	8.00	0.60	78,936	720,496	11,202,632
23	2042	1,550,895	10,538,157	1,082,546	702,007	8.00	0.60	81,191	783,197	11,985,829
24	2043	1,579,716	11,150,569	1,113,476	768,154	8.00	0.60	83,511	851,664	12,837,494
25	2044	1,609,089	11,780,483	1,145,298	840,539	8.00	0.60	85,897	926,437	13,763,930
26	2045	1,639,026	12,428,405	1,178,039	919,752	8.00	0.60	88,353	1,008,105	14,772,035
27	2046	1,669,537	13,094,853	1,211,723	1,006,438	8.00	0.60	90,879	1,097,317	15,869,353
28	2047	1,700,635	13,780,362	1,246,380	1,101,302	8.00	0.60	93,479	1,194,780	17,064,133
29	2048	1,732,332	14,485,483	1,282,038	1,205,116	8.00	0.60	96,153	1,301,269	18,365,402
30	2049	1,764,639	15,210,783	1,318,727	1,318,727	8.00	0.60	98,904	1,417,631	19,783,033

Fuente: (1) Estimación, <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>, (2) Estimaciones propias (Ver Anexo 01), (3) Volumen del material de cobertura, (4) Cálculo del volumen total, producto de la suma de RRSS estabilizado más volumen de material de cobertura

Para establecer la vida útil del relleno sanitario, se parte de la premisa de que se cuenta con 67 hectáreas disponibles, de las cuales se pueden emplear en celdas de relleno sanitario 57 hectáreas, quedando 10 Has para vías de acceso y servicios propios del relleno.

Dentro de las 57 hectáreas se propone construir 6 celdas de 9.5 hectáreas de base, 8m de altura. En cada celda se propone construir hasta 4 niveles de plataformas. La celda obedece a un diseño geométrico tipo tronco de pirámide con 40m de frente de trabajo, espacio suficiente para atender las unidades que transportan los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en la hora punta. La tabla N° 07 muestra que en total el volumen disponible para confinar residuos sólidos es de 15,818,598.18m³.

Tabla N° 07. Volumen Disponible para confinamiento de Residuos Sólidos en el relleno Sanitario

Celdas Proyectadas	Niveles por celda	Altura por Plataforma (m)	% Área de servicio	Área Disponible total x celda (ha)	Volumen Disponible (m³)
1	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
2	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
3	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
4	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
5	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
6	4	8.6	85%	30.66	2,636,433
				Total (m³)	15,818,598.18

Fuente: Elaboración propia

Una intersección del volumen disponible (oferta) del relleno sanitario con la última columna de la tabla N° 06 "Volumen Ocupado Acumulado (demanda)" nos arroja que en el año 27 convergen la oferta con la demanda; siendo esta la vida útil del relleno sanitario.

Tabla N° 07. Cálculo de la Vida Útil

Cálculo de vida útil		
A. Celda	9.49	Ha
A. terreno	67	Ha
A. Disponible	57	Ha
Nº Celdas	6.0	
Volumen Total	15,818,598	m³
Tiempo de vida	27	Años

3.4.1.2. Estimación de Volumen de Gas Generado en el Relleno

Para estimar la generación y potencial reducción de emisiones a partir de los residuos sólidos emplearemos como referencia las herramientas provistas por el Clean Development Mechanism (CDM) de la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).¹²

Methodology and Tools
ACM0001 / Version 15.0.0 "Flaring or use of landfill gas"
Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1)
Project emissions from flaring" (Version 02.0.0)
Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption" (Version 01)

En base al volumen estimado de residuos sólidos, la composición asumida y las características climáticas del lugar, al aplicar estas herramientas al proyecto Relleno Sanitario Trujillo podemos estimar que para el año 2019 se esperaba tener un volumen de 1,145,033 Nm³ de "Landfill Gas" (LFG por sus siglas en ingles).

A partir de las proyecciones de LFG y conociendo la composición de los residuos se pueden hacer estimaciones sobre la cantidad de GEI emitido por los RRSS. Con esta información se pueden hacer estimaciones sobre cuántas toneladas de CO₂ equivalentes serán destruidas (tCO₂e).

La tabla N° 08 muestra los resultados estimados hasta el año 2045 (27 años, equivalentes a la vida útil del relleno).

Tabla N° 08: Estimación de LFG generado en el relleno sanitario

Año	LFG (Nm ³ /año)	Año	LFG (Nm ³ /año)	Año	LFG (Nm ³ /año)
1	1,145,033	10	9,613,007	19	16,515,896
2	2,237,156	11	10,420,351	20	17,262,646
3	3,281,504	12	11,212,312	21	18,011,743
4	4,282,828	13	11,991,376	22	18,764,671
5	5,245,534	14	12,759,869	23	19,522,846
6	6,173,706	15	13,519,978	24	20,287,627
7	7,071,136	16	14,273,754	25	21,060,320
8	7,941,349	17	15,023,132	26	21,842,183
9	8,787,621	18	15,769,937	27	22,634,431

Fuente: Estimación propia

3.4.2. Alternativas Tecnológicas de reducción de emisiones

Dentro de las opciones tecnológicas que están presentes en el mercado se tienen las siguientes:

- Alternativa 1: Captura y quema centralizada de biogás.
- Alternativa 2: Generación de energía eléctrica a partir del biogás.
- Alternativa 3: Generación de energía eléctrica mediante Gasificación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).
- Alternativa 4: Producción de Biogás Natural Comprimido
- Alternativa 5: Producción de combustible sólido recuperado.

Se han seleccionado las tres primeras alternativas para considerarlas en nuestro análisis por las siguientes razones: madurez de la tecnología, experiencias en el país y la región y un volumen interesante de residuos sólidos en la provincia con posibilidad de valorizarse energéticamente y reducir emisiones.

Las tecnologías a analizar serán explicadas a detalle en el capítulo 5. Con respecto a las tecnologías que no fueron escogidas (alternativas 4 y 5) si bien existen en el mundo, en el país adolecen de un mercado cautivo por lo que el riesgo del retorno de la inversión se vuelve alto a tal punto que creemos que desalienta al inversionista.

¹² <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>

4. Criterios de Selección y niveles de clasificación

4.1. Análisis de Alternativas

Se han establecido ocho criterios de selección para cada tecnología. La tabla N° 09 muestra el peso porcentual, describe el criterio de calificación y los criterios para establecer la puntuación para cada uno en función al juicio de expertos. Para la puntuación se considera 1 el peor puntaje y 3 el mejor.

Tabla N° 09. Descripción y puntaje de criterios de selección

Puntaje (A)	Peso (B)	Descripción	Criterio de Decisión
Optimización del Costo (Puntaje 1-3)	20%	Costos de la alternativa teniendo en cuenta el CAPEX y el OPEX. Se considera como beneficio adicional los potenciales flujos de ingresos generados por la alternativa (en relación con otras tecnologías) a lo largo de su vida útil.	La alternativa con los costos netos más bajos en el transcurso de su vida útil recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con los costos netos más altos recibirá la puntuación más baja (1).
Nivel de Riesgo (Construcción) (Puntaje 1-3)	5%	Riesgo asociado a las demoras en la implementación y desvíos del plan/cronograma de proyecto. La simplicidad en la implementación obtiene mayor puntuación que las tecnologías más complejas.	La alternativa con el nivel más bajo de riesgo recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con el mayor nivel de riesgo recibirá la puntuación más baja (1).
Nivel de Riesgo (Operación) (Puntaje 1-3)	5%	Nivel de riesgo de la capacidad de la tecnología para suministrar largos períodos de operación satisfactoria sin fallas durante su uso.	La alternativa con el nivel más bajo de riesgo recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con el mayor nivel de riesgo recibirá la puntuación más baja (1).
Idoneidad (Puntaje 1-3)	10%	Capacidad de la tecnología para adecuarse de mejor manera a las características físicas y los requisitos del sitio elegido. La tecnología probada localmente y/o internacionalmente en este tipo de lugares obtiene mayor puntuación, así como tecnologías con beneficios específicos para el ambiente en que se implementa.	La alternativa con el más alto nivel de idoneidad recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con el nivel más bajo de idoneidad recibirá la puntuación más baja (1).
Flexibilidad (puntaje 1-3)	10%	Flexibilidad de la alternativa en términos de potencial para adaptarse a las demandas futuras. Potencial de escalabilidad en el caso de aumento de la demanda. Si la escalabilidad no requiere mayor inversión o esfuerzo la tecnología obtiene mayor puntuación.	La alternativa con el mayor nivel de flexibilidad recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con el nivel más bajo de flexibilidad recibirá la puntuación más baja (1).
Reducción de Emisiones (Puntaje 1-3)	20%	Las posibles reducciones de emisiones proyectadas relativa a los niveles de emisiones de GEI de referencia (línea base) en el transcurso de la vida útil de la tecnología. Cuanta más reducción de emisiones genera, mayor será la puntuación de la tecnología.	La alternativa con el mayor potencial de reducción de emisiones de GEI recibirá el puntaje más alto (3). La alternativa con el menor potencial de reducción de emisiones de GEI recibirá el puntaje más bajo (1)
Impacto Social y/o Ambiental (puntaje 1-3)	15%	Potencial de genera impacto social: oportunidades de empleo para la comunidad local, mayor acceso a la energía como resultado de la generación de energía, entre otros. Potencial de reducción de daños ambientales al usar la tecnología	La alternativa con el mayor nivel de posible impacto social y/o ambiental positivo recibirá el puntaje más alto (3). La alternativa con el potencial de impacto positivo más bajo recibirá la puntuación más baja (1)
Replicabilidad (Puntaje 1-3)	15%	Posibilidad de replicar la alternativa en otros rellenos sanitarios o lugares del país. Si la tecnología puede ser aplicada en una cantidad mayor de lugares con beneficios similares, esta obtiene mayor puntaje.	La alternativa con el mayor nivel de replicabilidad recibirá la puntuación más alta (3). La alternativa con el menor potencial de reducción de emisiones de GEI recibirá el puntaje más bajo (1).

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1. Puntuación de alternativas

Para cada alternativa presentada se realiza un análisis multicriterio determinado por ocho criterios a los cuales se les ha asignado una puntuación (A) y un peso ponderado (B) y, obteniéndose por multiplicación el puntaje (AxB). Usando la técnica del juicio de expertos, se ha establecido que para el proyecto los puntajes mayores a 2 son muy viables; entre 1 y 2 son viables y menores que 1 son poco viables. Ver tabla N° 10.

Tabla N°10. Escala de Puntajes de para el Análisis de Alternativas

Puntaje de Viabilidad	Descripción
Mayor a 2	Muy viable
Entre 1 y 2	Viable
Menor que 1	Poco viable

Fuente: Elaboración Propia

5. Alternativas de Tecnologías

5.1. Alternativa 1: Captura y quema centralizada de biogás

5.1.1. Explicación conceptual de la tecnología

Esta alternativa contempla la construcción de pozos de biogás, en las plataformas del relleno sanitario, este biogás es capturado y transportado hacia una estación de succión activa y derivado hacia una estación de destrucción por combustión controlada. El gráfico N° 02 muestra el flujo necesario para lograr la captura y quema centralizada de biogás.

Fig. N° 04: Flujo de la captura y Quema Centralizada de Biogás



5.1.2. Optimización de Costo

Los costos incurridos están básicamente en la construcción de los pozos de captación de biogás, el ducto de transporte del biogás, la estación de succión y la estación de quema centralizada. Se ha estimado un presupuesto de esta alternativa valorizado en US\$1.12 millones, para lo cual se ha incorporado la reserva de contingencias y reserva de gestión (para mayor detalle ver Anexo N°03). Este estimado está basado en el proyecto CDM “Perú: Huaycoloro Landfill Gas Recovery” (“*World Bank Documents*”)¹³.

5.1.3. Nivel de Riesgos

La implementación de esta tecnología contempla la implementación de los pozos de biogás, gasoducto y estación de quema. En cuanto la operación, esta tecnología es simple de operar, y es posible automatizarla.

La selección de proveedores se haría mediante concurso privado, por parte directa del operador del relleno sanitario. El registro del proyecto toma un mínimo de 12 meses, y su instalación toma un tiempo máximo de 12 meses por lo que a fines del año 2020 se podría dar inicio a este proyecto.

5.1.4. Idoneidad y flexibilidad

Con respecto a la idoneidad de la tecnología aplicada al sitio, esta opción es bastante buena y viable, pues se puede aplicar a un relleno de la magnitud propuesta y cumplir con el objetivo de la reducción de

¹³ <http://documents.worldbank.org/curated/en/951071468293396238/pdf/337610PADoPo941aycolorooPADoSepto30.pdf> (Revisar Annex 5 de este documento)

emisiones de GEI. A su vez, esta tecnología cuenta con madurez importante en el país y en la región con la implementación de proyectos similares.

También sería bastante flexible con respecto al volumen de GEI adicionales que podrían generarse, ya sea por factores climáticos inesperados que incrementen o por un aumento en la generación y disposición de residuos sólidos. Se hace esta afirmación, pues cualquier volumen adicional de gases quedaría almacenado en las tuberías del relleno, para ser posteriormente quemado.

5.1.5. Reducción de Emisiones de GEI

Se ha estimado que, en el total de su vida útil, se podría alcanzar una reducción de un volumen de 2,711,513 tCO₂e. Para estimar la reducción de emisiones de GEI se utilizó las herramientas provistas por el Clean Development Mechanism (CDM) de la United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (Ver Anexo N° 02 para mayor detalle sobre los supuestos utilizados).

5.1.6. Impacto y replicabilidad

Esta opción de tecnología representa pocos beneficios ambientales adicionales, además del de reducción de GEI. Por otro lado, no genera ningún otro tipo de impacto social, como generación adicional de empleo.

Esta tecnología es la más simple y replicable. Además, es la mínima requerida por ley para reducción de GEI en rellenos con capacidad mayor a las 200 ton/día. Esta tecnología podría ser potencialmente replicable en: Arequipa, Piura, Tacna, Maynas, Ayacucho, Ucayali y Lambayeque.

5.1.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado

En el País se tiene esta tecnología implementada en 03 rellenos sanitarios: Huaycoloro, Modelo del Callao y Ancón. También existen proveedores potenciales como ABISA, Haug, Jhon Zink, Jorvex, Cidelsa, TDM, etc.

Sería posible indexar los costos de operación de la tecnología a los costos operativos del relleno sanitario, lo que atraería el interés de Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos como Petramás, KDM, Veolia, Proactiva, Acciona, etc.

5.1.8. Resultado del Análisis

Según el método descrito y en sesión de trabajo con el equipo de la DGRS y DGCCD de MINAM se obtuvo el resultado mostrado en la tabla N° 11.

Tabla N° 11 Puntaje de la Alternativa 1

Puntaje (A)	Peso (B)	Puntuación	Puntuación Ponderada
Optimización del Costo	20%	3	0.6
Nivel de Riesgo (Construcción)	5%	3	0.15
Nivel de Riesgo (Operación)	5%	3	0.15
Idoneidad	10%	2	0.2
Flexibilidad	10%	3	0.3
Reducción de Emisiones	20%	1	0.2
Impacto Ambiental y Social	15%	1	0.15
Replicabilidad	15%	2	0.3
Total	100%	-	2.05

Fuente: Elaboración Propia

5.2. Alternativa 2: Generación de Energía Eléctrica del Biogás como Energía Renovable

5.2.1. Explicación conceptual de la tecnología

Esta alternativa a partir del relleno sanitario contempla la construcción de pozos de biogás, transporte y limpieza del biogás, su combustión en moto generadores eléctricos de alta eficiencia y su conexión a las redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Desde el año 2010 el estado peruano convoca a subastas de energía empleando recursos energéticos renovables. En este caso el recurso renovable es la biomasa¹⁴. La energía eléctrica generada se inyectaría al SEIN dentro del marco de un contrato de venta de energía establecido en el mecanismo de Subasta de Energía Eléctrica con recursos energéticos renovables en la categoría biomasa, promovida por el Estado Peruano con contratos garantizados a 20 años.

El gráfico N° 03 muestra el flujo necesario para lograr la Generación Eléctrica a partir del biogás. En esta condición el Flare se emplea como una medida de seguridad cuando los moto-generadores paren por mantenimiento.

Gráfico N° 03: Flujo de la Generación Eléctrica con Biogás



5.2.2. Optimización de Costo

Los costos incurridos están básicamente en el sistema de captura de gases, la estación de compresión de gas, estación de limpieza, unidades de generación, subestación eléctrica y la red de transmisión eléctrica.

Se ha estimado que a partir del tercer año del proyecto se tiene gas suficiente para instalar un moto generador de 1MW, luego se instalaría otro moto generador en el año 8 y un tercero en el año 12. De esta manera, se logra alcanzar una capacidad instalada total de 3MW a partir del año 12.

El presupuesto para este proyecto se estima entre US\$7.5 millones para lo cual se ha incorporado la reserva de contingencias y reserva de gestión (Para mayor detalle ver Anexo N° 04). Este estimado está basado en el proyecto CDM “Perú: Huaycoloro Landfill Gas Recovery”, de manera similar a la alternativa anterior.

El retorno de esta inversión estaría garantizado contractualmente por el SEIN en el marco de la subasta de energías renovables (subastas de Régimen Especial de Renta - RER).

¹⁴ <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/subastas/cuarta-subasta>.

5.2.3. Nivel de Riesgos

Dada la coyuntura nacional de sobre la oferta de energía barata, es posible que el gobierno ya no incentive las tecnologías renovables en el sector de biomasa, puesto que no son competitivas frente a la solar y a la eólica. También es posible que el plazo no se cumpla por temas de retardo en los permisos y costo social.

La selección de proveedores se hará mediante concurso privado directamente del operador del relleno sanitario. Constructivamente el proyecto tomaría un mínimo de 12 meses.

5.2.4. Impacto y replicabilidad

El impacto ambiental es mayor en comparación a la primera alternativa, pues la venta de energía renovable permite reducir el uso y, por ende, la demanda, de otro tipo de energías convencionales con efectos negativos en el ambiente. Además, la generación eléctrica resulta beneficiosa para las personas beneficiarias (impacto social). Por el lado de la generación de empleo, la operación de esta tecnología no implica demanda significativa de mano de obra adicional.

La replicabilidad para esta opción es menor, pues se necesita una cantidad interesante de residuos, junto con factores climáticos favorables para hacer rentable esta tecnología.

5.2.5. Reducción de Emisiones de GEI

Se ha estimado que, en el total de su vida útil, se podría alcanzar una reducción de un volumen de 3,005,097 tCO₂e. Para estimar la reducción de emisiones de GEI se utilizaron las herramientas provistas por el CDM UNFCCC (Ver Anexo N° 02 para mayor detalle sobre los supuestos utilizados).

Esta cifra es explicada no sólo por la reducción de emisiones que toma lugar en el relleno, sino por la generación de energía renovable, la cual aparece como alternativa al consumo de energías convencionales que generan emisiones de GEI. Según el modelo usado de CDM, cada MWh que es suministrado al SEIN es equivalente a una reducción de 0.45338 tCO₂e¹⁵.

5.2.6. Idoneidad y flexibilidad

La idoneidad para esta alternativa es también alta, pues la cantidad de residuos y futuras emisiones de GEI, permiten el aprovechamiento de la biomasa, en lugar de solo quemar los gases. Además, está alineada con el propósito del proyecto, el cual busca movilizar inversión privada.

La alternativa es menos flexible que la anterior y los GEI remanentes que no terminen en el moto-generador son enviados a quema centralizada. Sin embargo, la alternativa no deja de ser bastante flexible, debido a la posibilidad de incluir nuevos moto generadores para seguir aprovechando el biogás.

5.2.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado

En el País se tiene esta tecnología implementada en el relleno sanitario Huaycoloro. También existen proveedores potenciales como Caterpillar, Jenbacher, Perennial Energy, etc. Al ser una tecnología adicional complementario a la tecnología de captura y quema centralizada; es posible que los privados interesados sean las Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos como Petramás, KDM, Veolia, Proactiva, Acciona u otras empresas privadas interesadas en generar energía renovable.

5.2.8. Resultado del Análisis

Según el método descrito y en sesión de trabajo con el equipo de la DGRS y DGCCD de MINAM se obtuvo el resultado mostrado en la tabla N° 12.

Tabla N° 12. Puntaje de la alternativa 2

¹⁵ UNFCCC: Project 0708

Puntaje (A)	Peso (B)	Puntuación	Puntuación Ponderada
Optimización del Costo	20%	3	0.6
Nivel de Riesgo (Construcción)	5%	3	0.15
Nivel de Riesgo (Operación)	5%	3	0.15
Idoneidad	10%	3	0.3
Flexibilidad	10%	3	0.3
Reducción de Emisiones	20%	2	0.4
Impacto Ambiental y Social	15%	2	0.3
Replicabilidad	15%	2	0.3
Total	100%	-	2.5

Fuente: Elaboración propia

5.3. Alternativa 3: Generación de Energía mediante Gasificación RSU

5.3.1. Explicación conceptual de la tecnología

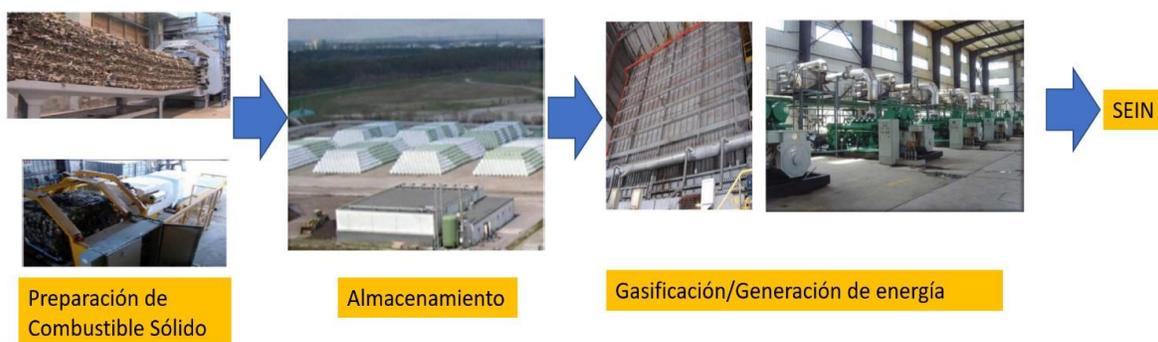
Esta alternativa contempla la instalación de un gran centro de procesamiento de residuos sólidos con el objetivo de retirar metales, vidrios y productos no gasificables de tal manera que se obtiene un combustible sólido recuperado que luego se incorpora a una unidad gasificadora transformándose en Syngas (que contiene metano y monóxido de carbono como combustibles). Posteriormente, el Syngas se lleva a la unidad de generación eléctrica para la producción de energía, la cual es inyectada a las redes del SEIN bajo el mecanismo de Subasta de Energía eléctrica con recursos energéticos renovables, en la categoría biomasa que el estado peruano promueve con contratos garantizados a 20 años.

La tecnología de gasificación destruye los residuos sólidos de tal modo que solo el 3 al 5% de los residuos sólidos va a las celdas de disposición final del relleno sanitario, extendiendo su vida útil considerablemente y eliminando otros costes de disposición final.

Otra ventaja de esta alternativa sería que, debido a que tiene que hacerse un proceso de separación de residuos previo a la gasificación, los requerimientos de mano de obra son intensivos para esta la aplicación de esta tecnología, haciendo de este un proyecto socialmente más amigable.

El gráfico N° 04 muestra el flujo necesario para lograr la Generación Eléctrica a partir de la gasificación de los residuos sólidos. En esta condición el Relleno Sanitario tiene un uso mínimo o casi cero.

Gráfico N° 04: Flujo de la Generación Eléctrica con Biogás



5.3.2. Optimización de Costo

Los costos incurridos están básicamente en la estación de preparación del combustible, el gasificador, las unidades de gasificación, subestación eléctrica y la red de transmisión eléctrica.

Para este proyecto se tiene estimado un presupuesto de US\$55 millones para una planta de 18MW que procesaría 450 ton/día de RRSS aproximada (Para más detalle ver Anexo 06). La planta entregaría 145,798MWh anuales a las redes del SEIN.

El retorno de esta inversión está garantizado contractualmente por la venta de energía eléctrica al SEIN bajo el mecanismo de la subasta RER.

5.3.3. Nivel de Riesgos

Dada la coyuntura nacional de sobre oferta de energía barata, es posible que el gobierno ya no incentive las tecnologías renovables en el sector de biomasa, puesto que no son competitivas frente a la solar y a la eólica. También es posible que el plazo no se cumpla por temas de retardo en los permisos y costo social. Asimismo, esta tecnología es nueva en Sudamérica, por lo que es posible que se tenga que invertir en capacitaciones o contratar personal extranjero para la operación.

La selección de proveedores se haría mediante concurso privado directamente del operador del relleno sanitario. Constructivamente, el proyecto toma un mínimo de 36 meses.

5.3.4. Impacto y replicabilidad

Esta tecnología presenta alto impacto por desplazamiento de energía no renovable, pues tendría una producción mucho mayor a la de la alternativa 2. Asimismo, traería consigo un fuerte impacto social, pues es intensiva en el uso de mano de obra para la preparación de la biomasa a ser usada para gasificación. Un último beneficio sería que permite extender la vida útil del relleno sanitario adicional.

Sin embargo, solo podría ser replicada en 3 otras localidades (Piura, Lima y Arequipa). Siendo la alternativa con calificación más baja en este punto.

5.3.5. Reducción de Emisiones de GEI

Se ha estimado que, en el total de su vida útil, se podría alcanzar una reducción de un volumen de 1,464,789 tCO₂e sólo por efecto de la generación eléctrica y venta a las redes del SEIN, tal como se explicó en el punto 5.2.5 (Para más de talle ver el Anexo N° 06).

A esto se le adiciona lo estimado en la alternativa 1, por efecto del remanente de RRSS que van al relleno y la fracción gasificada que ya no emitirá GEI, por haber sido tratada (procedimiento usado en la alternativa 1). El total de emisiones reducidas sería de 4,176,303 tCO₂e.

5.3.6. Idoneidad y Flexibilidad

La opción si bien parece ser ideal, es de difícil implementación y más difícil financiamiento. Por lo que dista bastante de la realidad.

Además, con respecto a flexibilidad, esta es la opción menos flexible de las tres, pues ante un incremento en el flujo de residuos, el exceso iría a parar al relleno sanitario complementario, pues la planta tiene una capacidad diaria limitada.

5.3.7. Historial, proveedores potenciales, interés privado

En el País no se tiene esta tecnología implementada, sin embargo, en el mundo si se ha desarrollado como una medida de solución frente al problema de la basura. También existen proveedores potenciales como Westinghouse, Caterpillar, Jenbacher, BakerHuges General Electric, etc.

Al ser una tecnología novedosa con mucho potencial energético es posible que los privados interesados sean las Empresas Generadoras de energía como Petramás, Acciona, u otras empresas privadas interesadas en generar energía renovable.

5.3.8. Resultado del Análisis

Según el método descrito y en sesión de trabajo con el equipo de la DGRS y DGCCD de MINAM se obtuvo el resultado mostrado en la tabla N° 13

Tabla N° 13. Puntaje de la Alternativa 3

Puntaje (A)	Peso (B)	Puntuación	Puntuación Ponderada
Optimización del Costo	20%	1	0.2
Nivel de Riesgo (Construcción)	5%	1	0.05
Nivel de Riesgo (Operación)	5%	1	0.05
Idoneidad	10%	1	0.1
Flexibilidad	10%	1	0.1
Reducción de Emisiones	20%	3	0.6
Impacto Ambiental y Social	15%	3	0.45
Replicabilidad	15%	1	0.15
Total	100%	-	1.7

Fuente: Elaboración propia

6. Evaluación de las Opciones de Tecnología

6.1. Puntaje de cada Alternativa de Tecnología

6.1.1. Selección de Alternativa

De la tabla N° 14 muestra las ventajas y desventajas de cada alternativa determinada en un juicio de expertos en reunión del equipo de PwC junto al equipo técnico de la Dirección General de Residuos Sólidos (DGRS) y la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación (DGCCD) del MINAM.

Tabla N° 14. Elección de alternativa

	Alternativa 1: Captura y quema centralizada de biogás	Alternativa 2: Generación de energía a partir del biogás como Energía Renovable	Alternativa 3: Generación de Energía mediante Gasificación de RRSS
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">Se incurre en menores costosTiene mejor respuesta a las desviacionesExisten 2 proyectos en el país	<ul style="list-style-type: none">Costos mediosTecnología comprobadaExisten 4 proyectos en el país	<ul style="list-style-type: none">Dstrucción casi total de los RRSSAlta demanda de Mano de obraAlta producción de energía
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">Poco personal	<ul style="list-style-type: none">Proyecto de implementación gradual	<ul style="list-style-type: none">Costos elevadosTecnología nueva, no hay experiencia en el país
Puntaje ponderado	2.05	2.5	1.7

Fuente: Elaboración propia

6.2. Decisión de la Alternativa más adecuada

De acuerdo con los resultados de puntuación obtenidos, la alternativa escogida sería la 2: Generación de Energía Eléctrica a partir del Biogás.

La alternativa 2, en contraste con la alternativa 1, tiene un valor agregado por permitir la valorización de biogás y reducción de emisiones, a un nivel de inversión razonable. Además, se tiene la ventaja de contar con experiencias de esta tecnología en el país.

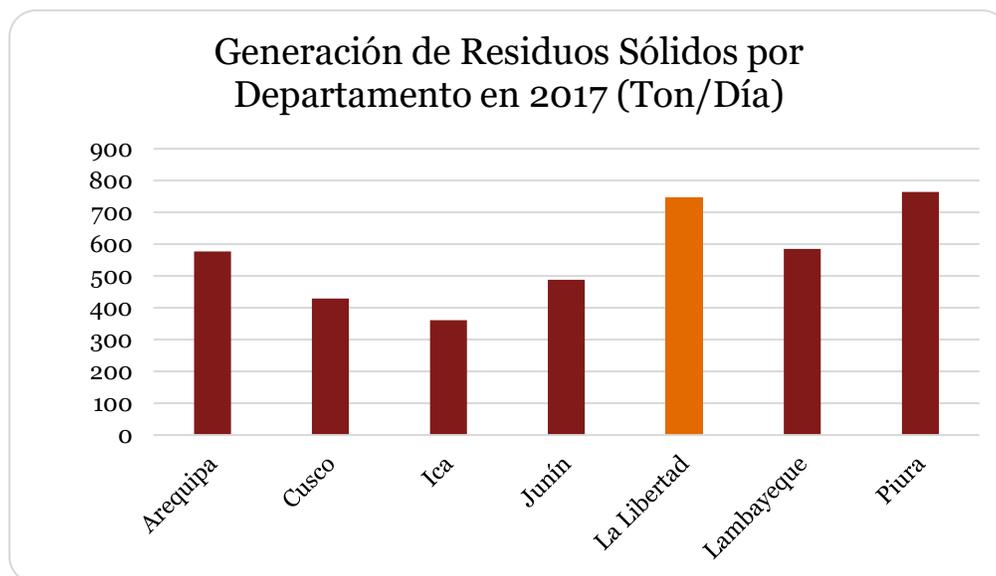
Es debido a estos dos puntos que se descarta la alternativa 3: la falta de experiencia (que genera incertidumbre) y el alto nivel de inversión que se requiere para poner en marcha el proyecto, ambos considerados factores limitantes para el proyecto.

7. Similitudes con otros lugares

7.1. Replicabilidad

Para definir la replicabilidad de las tecnologías presentadas, se sugieren los siguientes criterios:

- Generación de residuos: Para que una tecnología de la escala presentada en este documento pueda aplicar a otro lugar, es necesario que la cantidad de residuos que ingresen al relleno sea de un volumen relativamente similar. Para medir esto, se utiliza la Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios por Departamento, como indicador de la generación de RRSS que ocurre a nivel provincial.



Fuente: <http://sinia.minam.gob.pe/indicador/1600>

- Factores Climáticos: Los aspectos climáticos son relevantes, pues inciden en la producción de GEI que toman lugar en el relleno. Con factores favorables como en el caso presentado, es posible implementar las opciones tecnológicas.

Tabla N° 15. Resumen de Características Climáticas de otras Ciudades

Departamento	Temperatura Promedio	Precipitación Media Anual
Arequipa	22° C	50 mm
Cusco	11° C	510 mm
Ica	21.5° C	8 mm
Junín	6.5° C	52 mm
Lambayeque	23.5° C	43.5 mm
Piura	25° C	107.5 mm

Fuente: Weather Spark

Las tres ubicaciones que se asemejan más a Trujillo, tomando en cuenta los criterios presentados en este apartado, son las siguientes:

7.2. Arequipa

De acuerdo con el PIGARS para el periodo 2017-2021, en la provincia de Arequipa se generan 736 ton/día de residuos sólidos municipales, los cuales se disponen de dos formas:

- a) De forma adecuada en una infraestructura sanitaria de la municipalidad provincial, ubicado en la localidad de Quebrada Honda distrito de Yura con la prestación del servicio a 20 distritos.
- b) De forma inadecuada en diversos botaderos en el ámbito urbano y rural, siendo 10 municipios los que realizan esta inadecuada actividad. El 100% de los botaderos de residuos sólidos de la provincia de Arequipa no tienen planes de cierre y recuperación ambiental, realizan prácticas como el entierro o la quema de los RRSS. Los otros botaderos de la ciudad podrían estar contaminando el suelo a través de las aguas superficiales producto de la estación de lluvias y subterráneas a través de la infiltración, ya que no tenemos estudios de suelos y no se conoce a que profundidad se encuentra la Napa Freática.

Los residuos que están en los botaderos generan metano, CO₂, H₂S, humo y olores desagradables que alteran la calidad del aire y originan efectos negativos sobre el suelo. Adicional a todo esto, existen recicladores en los botaderos, a pesar de que las normas vigentes lo prohíben

7.3. Lambayeque

De manera similar a Trujillo, en el departamento de Lambayeque existe un botadero a cielo abierto en la zona de las Pampas de Reque. La cantidad de residuos recibidos en esta ubicación es de aproximadamente 500 toneladas al día, provenientes de los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz, La Victoria y Reque¹⁶.

La cantidad de basura dispuesta es relativamente grande y podría resultar interesante para la construcción de un relleno sanitario, el cual requeriría por ley la implementación de tecnologías para la mitigación de GEI. Dependiendo de la composición y otros factores climáticos, se podría incluso hablar de generación de energía eléctrica a partir del biogás.

7.4. Piura

La ciudad de Piura presenta diferentes micro botaderos, los cuales concentran cerca del 27% de los residuos generados (equivalente a 57 TM diarias). La basura es dispuesta en su totalidad de forma inadecuada, generando hediondez y contaminación, principalmente en los puntos críticos de acumulación de basura¹⁷.

Actualmente, existe un botadero importante, ubicado en la vía Piura – Chulucanas que recibe cerca de 440 TM diarias de residuos sólidos, provenientes de los distritos de Piura, Catacaos, Castilla y Veintiséis de Octubre¹⁸. Esta cantidad de residuos puede resultar interesante para un proyecto de relleno sanitario con tecnologías de reducción de GEI. El clima caluroso de Piura puede favorecer la descomposición de la fracción orgánica de los residuos y, por ende, la generación de emisiones de GEI, por lo que podría hablarse de un proyecto con tecnología para valorizar el biogás.

¹⁶ Plan Regional de Acción Ambiental – GORE Lambayeque:

<http://www.observatorioclimatico.org/system/files/GORE%20Lambayeque%202016%20Plan%20Regional%20de%20Accion%20Ambiental%202016-2021.pdf>

¹⁷ Plan de Acción Ambiental Regional Piura 2016-2021:

<http://siar.regionpiura.gob.pe/admDocumento.php?accion=bajar&docadjunto=2691>

¹⁸ <http://eltiempo.pe/esta-la-ruta-basura-recorre-desde-la-casa-hacia-botadero-municipal/>

8. Conclusiones

- Para el caso particular de Trujillo, la alternativa seleccionada es la Generación de Energía Eléctrica a partir del Biogás. Para rellenos ubicados en lugares con características climáticas favorables para la generación de GEI y en los cuales se disponga de una cantidad importante de RRSS, esta opción permite no solo la mitigación de la contaminación, sino una pequeña migración a energías limpias con alto potencial de replicabilidad. De esta forma se contribuye a pasar del uso de energías convencionales a otras que permitan alcanzar metas de desarrollo sostenible.
- Para comenzar con este primer paso en la implementación de estas tecnologías fuera de Lima, será necesario realizar un análisis detallado sobre la rentabilidad y posibles riesgos a los que estaría expuesto un proyecto de este tipo. El análisis estará más aterrizado y basado, en medida de lo posible, en fuentes de información primarias.
- La generación per cápita de residuos sólidos (GPC) en la provincia de Trujillo es ligeramente menor que el promedio del país. Sin embargo, expectativas en el incremento de la población y nivel de ingresos, podrían implicar incrementos importantes en la generación de basura, lo que podría empeorar la problemática actual.
- La gestión de residuos sólidos municipales se vuelve un problema más delicado conforme pasa el tiempo y, mientras más se le ignora, este sufre un efecto envolvente, lo que trae consecuencias negativas tanto para la sociedad (principalmente en la salud de las personas que viven más cerca), como para el medio ambiente.
- El proceso de gestión integral de residuos sólidos se realiza de manera más eficiente con la presencia de actores privados que cuenten con experiencia en sector y en la problemática. En este sentido, la inversión privada presenta una mejor alternativa, pues permite que los actores involucrados tengan intereses propios en llevar a cabo los proyectos de manera sostenible, pues cuentan con los incentivos monetarios necesarios: su retorno dependerá de qué tan bien realicen la gestión.
- Es de suma importancia analizar potenciales proyectos que estén enfocados en la protección del medio ambiente. Para el caso del presenta análisis, se pone a disposición información sobre diferentes formas de reducir emisiones de GEI, a la vez que se busca la generación de valor a partir del aprovechamiento del biogás. Este enfoque reúne los intereses, tanto del sector privado, que busca una rentabilidad en este tipo de proyectos y una oportunidad para contribuir con objetivos medioambientales, como también del Estado bajo el enfoque de protección medioambiental y su compromiso de reducir emisiones de GEI.

Anexos

Anexo 01: Supuestos estimación de RRSS

Supuesto	Estimación	Fuente de las estimaciones
Crecimiento Poblacional	1.8%	Crecimiento Anual Promedio http://censos2017.inei.gob.pe/redatam
Crecimiento GPC	1%	Supuesto Conservador
Volumen RRSS Domiciliarios	56.15%	Estudio de caracterización de RRSS municipales
Volumen RRSS Comercial	30.69%	Estudio de caracterización de RRSS municipales
Volumen RRSS Barrido	13.97%	Estudio de caracterización de RRSS municipales
Volumen RRSS Reciclables	8%	Estudio de mercado privado
Volumen RRSS Compostable	5%	Estudio de mercado privado
Densidad RRSS Compactado	0.55 ton/m ³	Supuesto estándar
Reducción del volumen por estabilización	6% anual	Supuesto estándar

Anexo 02: Supuestos para estimación de emisiones

Physical parameters of compounds				
Parameters	Unit	Value	Explanation	Source
Φ	-	0.75	Model correction factor to account for model uncertainties	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1)", page 2
F	%	0.0	Fraction of CH ₄ captured to the SWDS	Considered 0 since the Tool - Annex 13 also considers an Adjustment Factor
GWP (1st Crediting Period)	tCO ₂ e/tCH ₄	25	Global Warming Potential	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2
GWP (2nd Crediting Period)	tCO ₂ e/tCH ₄	25	Global Warming Potential	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2
OX	-	0.1	Oxidation factor	According to the "Tool v.6" page 3, considering the material utilized for covering the landfill (at the closure)
F	%	0.5	Fraction of CH ₄ in the SWDS gas	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 2
DOC _f	%	0.5	Fraction of degradable organic carbon that can decompose	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 3
MCF	-	1.0	Methane Correction Factor	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1) page 4, considering the management of the landfill
ρ_{CH_4}	tonnes/m ³	0.0007168	Density CH ₄	According to the "Emissions from solid waste disposal sites" (Version 06.0.1), page 9 (density of methane at normal conditions)
OX _{top_layer}	-	0.1	Fraction of methane that would be oxidized in the top layer of the SWDS in the baseline	Consistent with how oxidation is accounted for in the methodological tool "Emissions from solid waste disposal sites"
CH ₄ (%v/v)	%	50%	CH ₄ concentration	To be monitored (this value as a default per PDD calculations)
Equipment Details				
Parameters	Unit	Value	Explanation	Source
η_{PJ}	%	0.75	GCE of the equipment installed	Default value as per page 10/23 of ACM0001 / Version 13.0.0 "Flaring or use of landfill gas"
Blower	HP	30	1 blower engine 60HP; 3,600 RPM; 03Phase; 60HZ	Project Developer
Compressor	HP	4.00	1 compressor INGERSOLL RAND; 7,5HP; 1,800 RPM; 480V; 03 Phase; 60HZ.	Project Developer
Blower purge	HP	0.50	1 blower purge that functions only when the system is operating: 3/4 HP; 1,800 RPM; 01 Phase.	Project Developer
Cooler	HP	1.50	1 cooling system of 3 HP	
Electronic System	kW	2	Various	Project Developer
EC _{PJ,y}	MWh/yr	252.7	Electricity Consumption, yearly	Calculated
$\eta_{flare,m}$	%	1.0	Flare Efficiency in the minute m	Default value according to the tool "Project emissions from flaring" version 02.0.0
CEG	MW	1.14	Capacity of Each Generator	Project Developer
GE	%	40.20%	Generator efficiency	"ESTUDIO DE DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA EFECTIVA Y RENDIMIENTO DE LOS GRUPOS CAT 1, 2 Y 3 DE LA CENTRAL TÉRMICA HUAYACOLORO"
FLGE	m ³ /h	510.74	Flow LFG each generator	Calculated
T _{cn}	m ³ /h	0	Thermal Consumption	NA
E_{boiler}	%	0	Boiler efficiency	NA

Electrical considerations				
Parameters	Unit	Value	Explanantion	Source
EFgrid,y	tCO2e/MWh	0.45338	Grid Emission Factor	Provided to DOE as per the "Tool to calculate the emission factor for an electricity system" Version 4.0
TDLy	ratio	5.00%	Technical losses in the grid	Default value
Working times				
Parameters	Unit	Value	Explanantion	Source
Helec	h/year	8,000	Hours of generators	Project developer
Hbl	h/year	8,000	Hours of blowers	Project developer
Hth	h/year	0	Hours of thermal consumption	NA
Other parameters				
Parameters	Unit	Value	Explanantion	Source
PE _{FC,i,y}	tCO2e/year	CALCULATED	Emissions from heat consumption by the project activity	Project evaluator
CH _{4,LHV}	KJ/mol	890	Methane LHV	IPCC
FC _{i,j,y}	m3/year	0.0000	Fuel consumption	Project developer
NCV _{i,y}	GJ/ m3	26.3000	Weighted average net calorific value of the fuel type i (LPG)	Values from the fuel supplier will be used.
EFCO _{2i,y}	tCO2/GJ	0.0656	Weighted average CO2 emission factor of fuel type i (LPG)	Values from the fuel supplier will be used.
Site characteristics				
Parameters	Unit	Value	Explanantion	Source
MAT	°C	20.79	Mean Average Temperature	http://www.worldweather.org/029/c00108.htm
MAP	mm/year	41.00	Mean average Precipitation	http://www.worldweather.org/029/c00108.htm
PET	mm ³ /mm ²	48.80	Potential evapotranspiration	http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity_index.gif&access=public
Waste basis	-	wet	Waste basis (wet / dry)	Project developer

Fuente: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>. Datos planteados de acuerdo a las características del relleno

Anexo 03: Presupuesto Alternativa 01

Ítem	Monto (US\$)	Participación
Gerencia del Proyecto	16,118	1%
Supervisión del Proyecto y Control de Calidad	40,295	4%
Estudios y Diseños de Ingeniería Básica	16,118	1%
Estudios y Diseños de Ingeniería de Detalle	48,354	4%
Obtención de Licencias	40,295	4%
Piping	331,534	30%
Sistema de Captura y Combustión Centralizada	392,927	35%
Obras Eléctricas e Instrumentación	81,445	7%
Comisiones-ITF-Puesta en marcha	24,177	2%
Estimados del Proyecto	991,264	
Reserva para contingencias	99,126	9%
Línea Base de Costos	1,090,391	
Reserva de Gestión	32,712	3%
Presupuesto de Costos	1,123,103	100%

Fuente: Este estimado esta basados en el proyecto CDM "Perú: Huaycoloro Landfill Gas Recovery" ("World Bank Documents")¹⁹.

Anexo 04: Presupuesto Alternativa 02

Ítem	Monto (US\$)	Participación
Gerencia del Proyecto	107,296	1%
Supervisión del Proyecto y Control de Calidad	268,239	4%
Estudios y Diseños de Ingeniería Básica	107,296	1%
Estudios y Diseños de Ingeniería de Detalle	321,887	4%
Obtención de Licencias	268,239	4%
Sistema de Captura y Quema Centralizada	805,906	11%
Sistema de Limpieza y Acondicionamiento del biogás	366,839	5%
Sistema de Generación Eléctrica 3MW ²⁰	2,893,893	39%
Sistema de Subestación Eléctrica	414,691	6%
Sistema de Trasmisión (5Km)	605,906	8%
Otros	277,549	4%
Comisionamiento-ITF-Puesta en marcha	160,944	2%
Estimados del Proyecto	6,598,684	
Reserva para Contingencias	659,868	9%
Línea Base de Costos	7,258,552	
Reserva de Gestión	217,757	3%
Presupuesto de Costos	7,476,309	100%

Fuente: Este estimado esta basados en el proyecto CDM "Perú: Huaycoloro Landfill Gas Recovery" ("World Bank Documents")²¹.

¹⁹ <http://documents.worldbank.org/curated/en/951071468293396238/pdf/337610PADoPo941aycoloroPADoSepto30.pdf> (Revisar Annex 5 de este documento)

²⁰ Pueden ser implementados en 3 momentos distintos, en función de la disponibilidad del volumen de biogás.

²¹ <http://documents.worldbank.org/curated/en/951071468293396238/pdf/337610PADoPo941aycoloroPADoSepto30.pdf> (Revisar Annex 5 de este documento)

Anexo 05: Presupuesto Alternativa 03

Ítem	Monto (US\$)	Participación
Obtención de licencias/Ingeniería/Proyecto	1,500,000	3%
Planta de gasificación	24,750,000	45%
Planta de generación 18MW	8,550,000	16%
Planta de preparación de combustible	3,300,000	6%
Planta de secado y peletización	7,500,000	14%
Obra civil	6,000,000	11%
Instalación a la red	750,000.00	1%
Estimados del proyecto	52,350,000	
Reserva para contingencias	1,825,000	3%
Línea base de costos	54,175,000	
Reserva de Gestión	825,000	2%
Presupuestos de costos	55,000,000	100%

Fuente: Este estimado esta basados en el proyecto Rio + 20.

Anexo 06: Estimación de reducción de emisiones adicional para la Alternativa 03

Detalle	Unidad	Cantidad	Ref.	Fuente
Cantidad Tratada RSU	ton/año	164,450		Propuesta Rio+20
Potencia Instalada Central	MW	18.22	A	Propuesta Rio+20
Potencia de autoconsumo	MW	3.26	B	Propuesta Rio+20
Potencia Efectiva	MW	14.96	C=A - B	Propuesta Rio+20
Horas de Operación	h/año	8,000.00	D	Propuesta Rio+20
Energía Anual entregada	MWh/año	119,660.00	E=C x D	Propuesta Rio+20
Factor de Emisión Perú	ton CO ₂ /MWh	0.45338	F	PDD Huaycoloro
Periodo	Años	27	G	Vida útil del relleno
Emisiones reducida por desplazamiento eléctrico	ton CO ₂ /periodo	1,464,789	ExFxG	



This document is an output from the Mobilising Investment project, an initiative of the Climate and Development Knowledge Network (CDKN) and Low Emission Development Strategies Global Partnership (LEDS GP) contracted through SouthSouthNorth (SSN).

The Mobilising Investment project is funded by the International Climate Initiative (IKI) of the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), on the basis of a decision adopted by the German Bundestag. Delivery partners for the project include the National Renewable Energy Laboratory (NREL), Overseas Development Institute (ODI) and PriceWaterhouseCoopers UK (PwC).

The views expressed are not necessarily those of, or endorsed by, BMU or any of the entities delivering the Mobilising Investment project, who can accept no responsibility or liability for such views or information, or for any reliance placed on them. This publication has been prepared for general guidance on matters of interest only, and does not constitute professional advice. You should not act upon the information contained in this publication without obtaining specific professional advice. No representation or warranty (express or implied) is given as to the accuracy or completeness of the information contained in this publication, and, to the extent permitted by law, the entities managing the delivery of the Mobilising Investment project do not accept or assume any liability, responsibility or duty of care for any consequences of you or anyone else acting, or refraining to act, in reliance on the information contained in this publication or for any decision based on it.

Contacts



Ian Milborrow

milborrow.p.ian@pwc.com



Yasomie Ranasinghe

yasomie.ranasinghe@pwc.com



Guillermo Guerrero

guillermo.guerrero@pwc.com

At PwC, our purpose is to build trust in society and solve important problems. We're a network of firms in 158 countries with more than 236,000 people who are committed to delivering quality in assurance, advisory and tax services. Find out more and tell us what matters to you by visiting us at www.pwc.com.

This publication has been prepared for general guidance on matters of interest only and does not constitute professional advice. You should not act upon the information contained in this publication without obtaining specific professional advice. No representation or warranty (express or implied) is given as to the accuracy or completeness of the information contained in this publication, and, to the extent permitted by law, PwC does not accept or assume any liability, responsibility or duty of care for any consequences of you or anyone else acting, or refraining to act, in reliance on the information contained in this publication or for any decision based on it.

© 2018 PwC. All rights reserved. "PwC" refers to the PwC network and/or one or more of its member firms, each of which is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

