



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

TESIS

**“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD DE INSTALACION DE
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS
CON RELLENO SANITARIO MECANIZADO Y
RECUPERACION DE BIOGAS, PARA LA CIUDAD DE
CHICLAYO”**

**PARA OBTAR EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTADO POR:

Bachiller: CORONADO GARCIA EVELYN NATALIA

Bachiller: SIESQUEN ALVAREZ KAROL CRISTINA

ASESOR:

Ing. M.Sc. IVAN PEDRO CORONADO ZULOETA

Lambayeque – Perú

2017



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO**



**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA

TESIS

**“PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD DE INSTALACION DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS CON RELLENO
SANITARIO MECANIZADO Y RECUPERACION DE BIOGAS, PARA LA
CIUDAD DE CHICLAYO”**

PRESENTADO POR:

Bachiller: CORONADO GARCIA EVELYN NATALIA

Bachiller: SIESQUEN ALVAREZ KAROL CRISTINA

Aprobado por:

Dr. Cesar Alberto García Espinoza
Presidente

MSc. Ronald Alfonso Gutiérrez Moreno
Secretario

Ing. Gerardo Santamaría Baldera
Vocal

M.Sc. Ivan Pedro Coronado Zuloeta
Asesor

Lambayeque - Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, Por haberme apoyado en todo momento; por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y por su amor infinito; por sus consejos, sus valores; por los ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A mi hermana, por ser parte importante en mi vida, por haberme apoyado en todo momento.

A mis Abuelos y familia, por su apoyo incondicional en todo momento, por creer en mí y en todo aquello que podría lograr.

A mi mejor amigo y compañero, por creer en mí; por haberme alentado y apoyado siempre sobre todo en los momentos difíciles.

CORONADO GARCIA EVELYN NATALIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más y fortalecer mi fe en él.

A mis Padres, por creer en mi capacidad y darme una carrera para mi futuro; por su amor incondicional, sus enseñanzas e inculcarme el amor a la vida y la fe; por su ejemplo de progreso, esfuerzo y nobleza que me inspiran cuando necesito fuerzas para seguir adelante.

A Miguel y Luisin, que son mi principal motivación para ser mejor hermana; por creer en mí; y porque con su bondad y optimismo me alentaron a seguir adelante y que siempre sea perseverante y cumpla mis ideales.

A mis familiares, por su apoyo y motivación a seguir adelante; a la memoria de mi abuelo Benito con quien he compartido muchos momentos felices de mi niñez; a mi sobrina Adrianita que es principal motivación para ser guía.

A mis amigos, por su amistad; por todos los momentos compartidos y por sus consejos que me ayudaron a concretar este sueño.

SIESQUEN ALVAREZ KAROL CRISTINA

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque bajo su bendición nos permitió haber concluido la carrera satisfactoriamente y hoy presentar dicha tesis.

Para las autoridades de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por la oportunidad en este proceso de formación para convertirnos en profesionales en lo que tanto nos gusta Ingeniería Química.

A cada Maestro, que con sus conocimientos impartidos fueron pieza fundamental en este proceso de formación académica y prueba de ello es esta tesis.

Al Ing. Iván Coronado, por su disposición y paciencia durante la elaboración de la tesis; por su colaboración y orientación en la investigación de este proyecto.

Para las personas que nos acompañaron en este caminar hasta la realización de la tesis:

A nuestros Familiares, por su apoyo incondicional en todo momento que nos impulsó a seguir adelante.

Finalmente quiero agradecer a quien lee nuestra tesis, por permitirle a nuestras experiencias, investigaciones y conocimientos; incurrir en sus conocimientos.

CONTENIDO

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	V
INDICE	VI
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
1. OBJETIVOS.....	1
1.1. Objetivos Generales	1
1.2. Objetivos Específicos	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
3.1. Descripción del bien o servicio – relleno sanitario	5
3.1.1. Importancia y beneficios de los rellenos sanitarios	7
3.2. Marco conceptual	7
3.2.1. Definición de residuos sólidos	7
3.2.2. Clasificación de los residuos sólidos	8
3.2.2.1. Por su origen	8
3.2.2.2. Por su peligrosidad	13
3.2.2.3. En función a su gestión	13
3.2.2.4. Por su naturaleza	14
3.2.3. El manejo de los residuos sólidos municipales	15
3.2.3.1. Etapas del manejo de RSM	16
3.2.3.2. Disposición inadecuada de residuos sólidos	20
3.2.4. El manejo integral de los RSM.....	21
3.3. Análisis sectorial regional latinoamericano de residuos solidos	22
3.3.1. El manejo inadecuado de los residuos sólidos y sus impactos sobre la salud y el medio ambiente.....	23

3.3.2. Generación de residuos sólidos municipales (RSM)	24
3.3.3. Disposición final inadecuada.....	25
3.3.4. Minimización nula, reciclaje limitado y separación informal .	26
3.4. Situación de los residuos sólidos en el Perú	27
3.4.1. Origen del problema de los residuos sólidos en el Perú	27
3.4.2. Generación per cápita – GPC – de residuos sólidos.....	27
3.4.3. Caracterización de los residuos sólidos en el Perú	29
3.4.4. Entidades vinculadas a la gestión, manejo y fiscalización ambiental de los residuos sólidos municipales	30
3.4.4.1. Ministerio del Ambiente	30
3.4.4.2. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental (OEFA)	30
3.4.4.3. La Dirección general de salud ambiental (DIGESA)	31
3.4.4.4. Los Gobiernos Regionales	31
3.4.4.5. Los Gobiernos Locales	32
3.5. Residuos sólidos en provincia de Chiclayo	33
3.5.1. Disposición final de RS de provincia de Chiclayo	34
3.6. Definición de términos	35
3.7. Sistema de generación de biogás	40
3.7.1. Etapas del proceso de generación de biogás	40
3.7.2. Otras obras auxiliares	43
3.7.2.1. Cerco perimetral	43
3.7.2.2. Área de amortiguamiento y protección	43
3.7.2.3. Caseta de control	43
3.7.2.4. Instalaciones sanitarias y eléctricas	44
3.7.2.5. Zona de básculas	44
3.7.2.6. Oficinas administrativas	45
3.7.2.7. Instalaciones para el mantenimiento de vehículos	45
3.7.2.8. Cartel de identificación	46
3.7.2.9. Impermeabilización y control de líquidos	46
3.7.2.10. Área de almacén	46

4. RESULTADOS	48
4.1. ESTUDIO DE MERCADO	48
4.1.1. Generación y características de los residuos sólidos de Chiclayo	48
4.1.2. Materia prima para la obtención de biogás	50
4.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	53
4.2.1. Consideraciones para el diseño del relleno sanitario	53
4.3. UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO	56
4.4. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO	58
4.4.1. Selección del método	58
4.4.2. Capacidad volumétrica de las trincheras y plataformas	58
4.4.3. Cálculo de vida útil	61
4.4.4. Diseño de la celda diaria	65
4.4.4.1. Celda	65
4.4.5. Diseño del sistema del dren de lixiviados	70
4.4.5.1. Formación de lixiviado	70
4.4.5.2. Balance hidráulico	70
4.4.5.3. Formación del lixiviado en la costa o zonas desérticas	71
4.4.6. Diseño del sistema del monitoreo de lixiviados	72
4.4.6.1. Identificación y selección del revestimiento	73
4.4.6.2. Sistemas de colección de lixiviado.....	73
4.4.6.3. Remoción y almacenamiento de lixiviado	78
4.4.6.4. Alternativas de manejo de lixiviados	80
4.5. DISEÑO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS.....	85
4.5.1. Diseño del sistema de generación de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos	85
4.5.2. Volumen de biomasa disponible	85
4.5.3. Volumen de biomasa en el biodigestor	87
4.5.4. Volumen de biogás generado	89
4.5.5. Volumen total del biodigestor	90

4.5.5.1.	Partes del biodigestor modelo chino	90
4.5.5.2.	Dimensionamiento del sistema de generación de biogás	92
4.5.5.3.	Producción del abono orgánico	100
4.5.5.4.	Sistema completo.....	102
4.5.5.5.	Desulfurado	102
4.6.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	109
4.6.1.	Análisis de sostenibilidad ambiental	109
4.6.1.1.	Etapas de Construcción	112
4.6.1.2.	Etapas de Funcionamiento	114
4.6.1.3.	Etapas de Cierre	115
4.6.1.4.	Medidas de Mitigación	116
4.6.2.	Identificación y cuantificación de impactos	116
4.6.3.	Tipo de efecto, duración y posibilidad de ocurrencia	117
4.7.	ESTUDIO ECONÓMICO FINANCIERO	118
4.7.1.	Inclusión social del proyecto	120
4.7.2.	Inversión total	120
4.7.3.	Financiamiento	120
4.7.4.	Otras beneficios económicos	120
4.7.5.	Resumen total de costos	120
4.7.6.	Estado de ganancia y perdida	120
4.7.7.	Tasa de interés de retorno y el valor actual neto	122
	DISCUSIONES	124
	CONCLUSIONES	126
	RECOMENDACIONES	127
	REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	128
	ANEXOS	131

RESUMEN

En el Perú existen diez rellenos sanitarios autorizados y en funcionamiento para una población que supera los treinta millones de habitantes. Esta situación demuestra que existen graves problemas que impiden la rápida implementación de infraestructura para la adecuada disposición final de los residuos sólidos, en la provincia de Chiclayo no escapa de la problemática nacional, agravándose la situación por la disposición de residuos sólidos en un botadero de cielo abierto ya que este va en aumento constante causando preocupación, deterioro ambiental y de salud, por ello es necesario una adecuada gestión y control en el tratamiento de estos residuos.

El presente trabajo tiene como objetivo el aprovechamiento de los residuos sólidos generados por la población de la provincia de Chiclayo, es por esta razón que se propone la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado y recuperación de biogás, para la ciudad de Chiclayo. Esto permitirá reducir su costo de energía a los pobladores, empleando biodigestores. De acuerdo a la investigación se realizó un diagnóstico tomando el 20% de residuos orgánicos los cuales pasaron por un proceso de digestión donde se obtuvo 23 222, 2 m³ de volumen. También se analizó que el número de biodigestores del sistema de generación de biogás deberá estar formado de 35 biodigestores en paralelo a 680 m³ cada uno. Esto representa una opción viable para la provincia de Chiclayo ya que generará de energía limpia, cuidando el medio ambiente.

Palabras claves: Biogás, biodigestor, residuos sólidos, biodigestión.

ABSTRAC

In Peru there are ten sanitary landfills authorized and in operation for a population that exceeds thirty million inhabitants. This situation shows that there are serious problems that prevent the rapid implementation of infrastructure for the final disposal of solid waste in the province of Chiclayo does not escape the national problems, worsening the situation by the disposal of solid waste in a dump of sky Open since it is constantly increasing causing concern, environmental and health deterioration, so it is necessary an adequate management and control in the treatment of these wastes.

This research project focuses on the use of solid waste generated by the population of the province of Chiclayo, which is why it is proposed to install a solid waste treatment plant with mechanized landfill and biogas recovery. This will reduce the cost of energy to the population, using biodigesters. According to the research, a diagnosis was made taking 20% of organic residues which went through a digestion process where 23 222, 2 m³ of volume was obtained. It was also analyzed that the number of biodigesters of the biogas generation system should be formed of 35 biodigesters in parallel to 680 m³ each. This represents a viable option for the province of Chiclayo as it will generate clean energy, taking care of the environment.

Keywords: Biogas, biodigester, solid waste, biodigestion

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos hoy en día es un problema grave ya que son actividades que ha desarrollado la población ya que no cuenta con una educación y responsabilidad ambiental y los procesos industriales que son la mayor fuente de generación de residuos ya que sus actividades industriales son potencialmente generadoras de residuos.

En la actualidad, el cuidado del medio ambiente es muy importante con respecto a la generación de energía, por eso es necesario generar energía limpia, barata y renovable, y a la vez, aprovechar los residuos que son generados por la población.

La mayor parte de la energía que se genera en el mundo sigue sustentándose en fuentes denominadas no renovables, como los llamados combustibles fósiles, entre ellos el petróleo, carbón y gas natural, recursos naturales que requieren un largo período de tiempo, hasta siglos, para regenerarse de forma natural.

Antes esta situación se ha llevado a cabo buscar nuevas fuentes de energía que representen alternativas viables por esta razón se propone un adecuado manejo de residuos sólidos beneficiaria a la localidad de Chiclayo ya que se tratará estos residuos con un relleno sanitario mecanizado y se recuperará biogás que será utilizada por los misma población.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVOS GENERALES

- Sustentar la viabilidad técnico-económica de la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado y con recuperación de biogás, para la ciudad de Chiclayo.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estudio de mercado, determinando la demanda proyectada de tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Chiclayo.
- Realizar el estudio técnico del proyecto, estableciendo el tamaño y ubicación de la planta de tratamiento de residuos sólidos. Además se indicarán los equipos necesarios, su distribución y el impacto ambiental que se produciría por la instalación de esta planta de tratamiento.
- Realizar un estudio económico y la respectiva evaluación económica del proyecto.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente estudio busca evaluar la factibilidad de la implementación de una planta de tratamiento y disposición final (relleno sanitario) de residuos sólidos municipales (RSM) y de esta manera asegurar el manejo adecuado de estos.

Esta propuesta está relacionada directamente con líneas de investigación en el área, y más específicamente con gestión medioambiental y uso sostenible de los recursos. Para el desarrollo de esta se recurrirá a datos reales del volumen de residuos sólidos municipales en la ciudad de Chiclayo.

Este estudio es importante porque permite un diseño para una solución a la problemática ambiental asociada al buen manejo y disposición final de los residuos sólidos municipales, resultando esto beneficioso para la población.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

La provincia de Chiclayo, como muchas ciudades costeras del Perú se ha ido convirtiendo con el paso de los años en grandes metrópolis, pasando de una población de 738485 habitantes en el año 2000 a 857405 en el 2015; con una tendencia a ir en aumento con una tasa de crecimiento poblacional de 1.3% anual (INEI, 2012).

Según la FONAM, en la actualidad, el aumento de los residuos sólidos a nivel nacional se debe al crecimiento poblacional con hábitos de consumo inadecuados y educación ambiental precaria, procesos migratorios desordenados, flujos comerciales insostenibles, inadecuado manejo de gestión de residuos sólidos por parte de algunas municipalidades, entre otras. Existe un alto crecimiento urbano en la población causando una cantidad de residuos de 0.529 Kg./hab./día, aproximadamente. La composición de los residuos expresa una alta cantidad de materia orgánica putrescible con un 54.3% en peso, mientras que los papeles altamente reciclables como el papel, cartón, plásticos, metales, textiles, cueros, cauchos y maderas representan el 20.3 % y el resto de materiales no reciclables constituyen el 25.2 % en peso. La producción creciente de basura y la disponibilidad limitada de lugares controlados y manejados para la disposición final está teniendo impactos negativos sobre la salud, ambiente y ornato. Además, tiene una connotación social y económica debido a la presencia de segregadores informales que recuperan productos para su posterior comercialización (FONAM, 2015).

La provincia de Chiclayo no escapa de la problemática nacional, agravándose la situación por la disposición de los residuos sólidos en un “botadero de cielo abierto” situado en las pampas de Reque. Los botaderos abiertos favorecen la segregación informal y definitivamente atenta contra la salud y el ambiente (Alegre Chang, 2008). Además, cuando los residuos se disponen en basurales a cielo abierto, o vertederos no controlados, también son fuente de proliferación de vectores de

enfermedades, como insectos y roedores. Asimismo, dado que estos lugares normalmente no cuentan con la debida protección perimetral para impedir el ingreso, es común encontrar en los mismos animales como perros, gatos, y hasta ganado y animales de granja como cerdos. Algunas enfermedades transmisibles entre los animales y el hombre, como la cisticercosis, teniasis o triquinosis, tienen relación con el cerdo y muchas veces los brotes tienen como fuente incriminada a los cerdos alimentados con residuos de cocina, de restaurantes o de mataderos locales, así como a aquellos animales criados en los basureros. Los indicios de enfermedades zoonóticas, en atención al principio de precaución, exigen evitar la cría de animales de granja en sitios de disposición final de residuos sólidos. Estas situaciones se agravan cuando se quema la basura al aire libre en estos botaderos de cielo abierto, debido a que la incineración de residuos plásticos, industriales, pilas, baterías, etc., produce principalmente dioxina y furanos, que son sustancias tóxicas y cancerígenas (Organización Panamericana de la Salud – OPS, 2011). Según la OPS (2007), el relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

También se debe considerar que el gas del relleno sanitario (biogás) constituye uno de los más importantes productos derivados de la descomposición biológica de la fracción orgánica de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario. La tasa y el volumen de producción de gas dependen de las características de los residuos sólidos dispuestos y de las condiciones específicas que prevalecen dentro del relleno sanitario.

El biogás se puede utilizar como combustible para una planta termoeléctrica (Ministerio del Ambiente, 2010).

Por lo expuesto se hace urgente la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos para la provincia de Chiclayo, que debe incluir la segregación y reciclaje de residuos, rellenos sanitarios mecanizados y recuperación de biogás para producción de energía eléctrica.

3.1. Descripción del bien o servicio – relleno sanitario

Según el Artículo 82 del Reglamento de la Ley N° 27314, Ley de Residuos Sólidos, “la disposición final de residuos del ámbito de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario. La disposición final de residuos del ámbito de gestión no municipal se realiza mediante el método de relleno de seguridad”.

En el Artículo 83 del mismo Reglamento indica la clasificación de la infraestructura de disposición final, que de acuerdo al tipo de operación de rellenos sanitarios son:

Relleno sanitario manual; cuya capacidad de operación diaria no excede a veinte (20) Toneladas Métricas (TM)

Relleno sanitario semi-mecanizado; cuya capacidad de operación diaria no exceda a cincuenta (50) TM.

Relleno sanitario mecanizado; cuya capacidad de operación diaria es mayor a cincuenta (50) TM.

Las municipalidades son responsables por la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generan residuos similares a estos, en todo el ámbito de su jurisdicción territorial. Asimismo, en coordinación con las autoridades del sector salud, deben evaluar e identificar los espacios adecuados para implementar rellenos sanitarios, que son las infraestructuras autorizadas para la disposición final de residuos sólidos municipales – RSM.

Un relleno sanitario se define como una técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos (RS); comprende el esparcido, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte diariamente, el control de los gases, lixiviados y la proliferación de vectores, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población (BID, 2009), por lo tanto el relleno sanitario es una alternativa comprobada para la disposición final de los residuos sólidos.

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) un relleno sanitario “Es la instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos de gestión municipal en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental. Los proyectos de implementación de rellenos sanitarios deben ser aprobados por la Municipalidad Provincial correspondiente, previa aprobación del respectivo instrumento de gestión ambiental por la autoridad nacional de salud y la opinión técnica favorable del proyecto emitida por esta” (OEFA, 2015).

La predilección por el relleno sanitario se deriva del hecho de que se trata del método que arroja la mejor relación costo-efectividad en relación a protección a la salud y el medio ambiente, y a la luz de la realidad económica de los municipios. En la Tabla 1. Se establece una comparación de costos de disposición final según la tecnología utilizada.

Tabla. 1
Costo comparativo de opciones de disposición final de Residuos Sólidos Municipales

	Países de ingreso bajo	Países de ingreso medio	Países de ingreso alto
Promedio de ingreso	US\$ 370/per cap./año	US\$ 2400/per cap./año	US\$ 22000/per cap./año
Costo vertedero a cielo abierto	US\$ 0.5-2.0/t	US\$ 1.0-3.0/t	US\$ 5.0-10.0/t
Costo relleno sanitario	US\$ 3.0-10.0/t	US\$ 8.0-19.0/t	US\$ 15.0-50.0/t
Costo compostaje	US\$ 5.0 -20.0/t	US\$ 10.0 -40.0/t	US\$ 20.0 -60.0/t
Costo incineración	US\$ 40.0 -50.0/t	US\$ 30.0 -80.0/t	US\$ 70.0 -150.0/t

Fuente: Cointreau, 2006.

3.1.1. Importancia y beneficios de los Rellenos Sanitarios

- Se promueve la disminución de la contaminación ambiental (aire, suelo, agua, ruido) a través de la implementación de infraestructuras de residuos sólidos, como son los rellenos sanitarios.
- Fomenta la recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos en los llamados botaderos.
- Disminuye la incidencia de enfermedades infectocontagiosas y parasitarias, mejorando las condiciones ambientales y la calidad de vida de la población.

3.2. Marco Conceptual

3.2.1. Definición de Residuos Sólidos

Los residuos sólidos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que en razón de sus actividades produce residuos sólidos. Suele considerarse que carecen de valor económico, y se les conoce coloquialmente como “basura”. Es importante señalar que la ley también considera dentro de esta

categoría a los materiales semisólidos (como el lodo, el barro, la sanguaza, entre otros) y los generados por eventos naturales tales como precipitaciones, derrumbes, entre otros.

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos exige que los residuos sólidos sean manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos:

- a) Minimización de residuos
- b) Segregación en la fuente
- c) Reaprovechamiento
- d) Almacenamiento
- e) Recolección
- f) Comercialización
- g) Transporte
- h) Tratamiento
- i) Transferencia
- j) Disposición final

Para Montes (2009: 20), los residuos sólidos pueden ser definidos como “aquellos materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital”. Asimismo, explica que “el concepto de residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y productivo”.

3.2.2. Clasificación de los Residuos Sólidos

En el Informe 2013-2014 de la OEFA se encuentra la siguiente clasificación:

3.2.2.1. Por su origen

Residuos comerciales

Son aquellos residuos generados durante el desarrollo de las actividades comerciales. Están constituidos mayormente por papel,

plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, oficinas de trabajo, entre otras actividades comerciales y laborales análogas.

Residuos domiciliarios

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios. Estos comprenden los restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.

En Argentina, Pinto (2009) explica que los residuos sólidos domiciliarios “son aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas son desechados o abandonados”.

En la Tabla 1 se detalla ejemplos de diferentes tipos de residuos sólidos domiciliarios.

Tabla 2
Residuos sólidos Domiciliarios

Tipo	Ejemplos
Orgánico	Restos putrescibles, como restos vegetales, provenientes generalmente de la cocina, como cáscaras de frutas y verduras. También los excrementos de animales menores.
Papel	Hojas de cuadernos, revistas, periódicos, libros.
Cartón	Cajas, sean gruesas o delgadas.
Plásticos	Existen una gran diversidad de plásticos, los cuales se encuentran agrupados en siete tipos: <ul style="list-style-type: none"> • PET (polietileno tereftalato): botellas transparentes de gaseosas, cosméticos, empaques de electrónicos. • HDPE o PEAD (polietileno de alta densidad): botellas de champú, botellas de yogur, baldes de pintura, bolsas de electrónicos, jabs de cervezas, bateas y tinas. • PVC (cloruro de polivinilo): Tubos, botellas de aceite, aislantes eléctricos, pelotas, suela de zapatillas, botas, etc. • LDPE – PEBD (polietileno de baja densidad): bolsas, botellas de jarabes y pomos de cremas, bolsas de suero, bolsas de leche, etiquetas de gaseosas, bateas y tinas. • PP (polipropileno): empaques de alimentos (fideos y galletas), tapas para baldes de pintura, tapas de gaseosas, estuches negros de discos compactos. • PS (poliestireno): juguetes, jeringas, cucharitas transparentes, vasos de tecnopor, cuchillas de afeitar, platos descartables (blancos y quebradizos), casetes. • ABS (poliuretano, policarbonato, poliamida): discos compactos, baquelita, micas, carcazas electrónicas (computadoras y celulares), juguetes, piezas de acabado en muebles.
Fill	Envolturas de snack, golosinas.
Vidrio	Botellas transparentes, ámbar, verde y azul, vidrio de ventanas.
Metal	Hojalatas, tarro de leche, aparatos de hierro y acero.
Textil	Retos de tela, prendas de vestir, etc.
Cuero	Zapatos, carteras, sacos.
Tetra pack	Envases de jugos, leches y otros.
Inertes	Tierra, piedras, restos de construcción.
Residuos de baño	Papel higiénico, pañales y toallas higiénicas.
Pilas y baterías	De artefactos, juguetes y de vehículos, etc.

Fuente: USAID/Perú, 2008

Residuos de limpieza de espacios públicos

Como su nombre lo indica, son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas, independientemente del proceso de limpieza utilizado. El barrido de calles y espacios públicos puede realizarse de manera manual o con la ayuda de equipamiento.

Residuos de los establecimientos de atención de salud y centros médicos de apoyo

Son aquellos residuos generados en las actividades para la atención e investigación médica, en establecimientos como hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines. De acuerdo a la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, los referidos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o por contener altas concentraciones de microorganismos potencialmente peligrosos (v. gr. agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos y material de laboratorio).

Residuos industriales

Son aquellos residuos peligrosos o no peligrosos generados en los procesos productivos de las distintas industrias, tales como la industria manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares. De acuerdo a la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, los residuos antes mencionados se presentan como lodo, ceniza, escoria metálica, vidrio, plástico, papel, cartón, madera, fibra, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.

En Argentina, Pinto (2009) explica: Residuo industrial es cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la

realización de una actividad de servicio o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad.

Residuos de las actividades de construcción

Son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructuras.

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares.

Residuos agropecuarios

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos los define como aquellos residuos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros.

Residuos de instalaciones o actividades especiales

Son aquellos residuos sólidos generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión, complejidad y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como plantas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras; o de aquellas actividades públicas o privadas que movilizan recursos humanos, equipos o infraestructuras, en forma eventual, como conciertos musicales, campañas sanitarias u otras similares.

3.2.2.2. Por su peligrosidad

Residuos peligrosos y no peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos son aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente.

De conformidad con la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, se consideran peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad. Así, por ejemplo, se consideran como residuos sólidos peligrosos los lodos de los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, salvo que el generador demuestre lo contrario.

Por el contrario, se consideran no peligrosos aquellos residuos que por sus características o el manejo al que son sometidos no representan un riesgo significativo para la salud de las personas o el ambiente.

3.2.2.3. En función a su gestión

Residuos de gestión municipal

Son aquellos generados en domicilios, comercios y por actividades que generan residuos similares a estos, cuya gestión ha sido encomendada a las municipalidades.

La gestión de estos residuos es de responsabilidad del municipio desde el momento en que el generador los entrega a los operarios de la entidad responsable de la prestación del servicio de residuos sólidos, o cuando los dispone en el lugar establecido por dicha entidad para su recolección.

En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2001) señala lo siguiente: “Los Residuos Sólidos

Municipales (RSM) conocidos comúnmente como basura, están compuestos por residuos orgánicos (producto de la comercialización, el transporte, la elaboración de los alimentos y excedentes de comida y restos de materia vegetal), papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables e inorgánicos como, vidrio, plástico, metales y material inerte”.

La disposición final de residuos del ámbito de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario (Artículo 82° del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM).

Residuos de gestión no municipal

Son aquellos residuos generados en los procesos o actividades no comprendidos en el ámbito de gestión municipal. Su disposición final se realiza en rellenos de seguridad, los que pueden ser de dos tipos, de conformidad con el Artículo 83° del Reglamento de la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos: (i) Relleno de seguridad para residuos peligrosos, en donde se podrán manejar también residuos no peligrosos. (ii) Relleno de seguridad para residuos no peligrosos.

3.2.2.4. Por su naturaleza

Residuos Orgánicos

Residuos de origen biológico (vegetal o animal), que se descomponen naturalmente, generando gases (dióxido de carbono y metano, entre otros) y lixiviados en los lugares de tratamiento y disposición final. Mediante un tratamiento adecuado, pueden reaprovecharse como mejoradores de suelo y fertilizantes (compost, humus, abono, entre otros).

Residuos Inorgánicos

Residuos de origen mineral o producidos industrialmente que no se degradan con facilidad. Pueden ser reaprovechados mediante procesos de reciclaje.

3.2.3. El Manejo de los Residuos Sólidos Municipales

La oferta de los bienes se ha incrementado significativamente durante los últimos años debido a las variaciones en los hábitos de consumo de las personas. Los bienes que se producían para durar mucho tiempo, hoy tienen vidas útiles más cortas, por lo que se genera una gran cantidad de residuos sólidos.

La gestión y manejo de los residuos sólidos no ha cambiado de la misma manera. Ello ha generado, en muchos casos, la ruptura del equilibrio entre el ecosistema y las actividades humanas.

Para que los residuos sólidos no produzcan impactos negativos en el ambiente, deben gestionarse adecuadamente antes de proceder a su disposición final. El manejo de los residuos sólidos municipales puede ser realizado por la propia municipalidad y por una entidad prestadora de servicios de residuos sólidos (EPS-RS) contratada por ella, como empresa privada o mixta, y debe desarrollarse de manera sanitaria y ambientalmente adecuada, con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y protección de la salud - Artículo 9° del Reglamento de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, aprobado por Decreto Supremo N° 057-2004-PCM.

En México, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2001) explica que “El manejo integral y sustentable de los RSM [residuos sólidos municipales] combina flujos de residuos, métodos de recolección, sistemas de separación, valorización y aprovechamiento del cual derivan beneficios ambientales y

económicos que resultan en la aceptación social con una metodología versátil y práctica que puede aplicarse a cualquier región”.

3.2.3.1. Etapas del manejo de RSM

De conformidad con la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos, el manejo de los residuos sólidos se encuentra compuesto por las siguientes etapas:

a) Generación

Es el momento en el cual se producen los residuos como resultado de la actividad humana. Conforme se ha explicado, los residuos sólidos pueden producirse de la actividad cotidiana, comercial, servicios de limpieza pública, servicios de salud, construcción o por cualquier otra actividad conexas.

b) Segregación en fuente

Consiste en agrupar determinados tipos de residuos sólidos con características físicas similares, para ser manejados en atención a estas. Tiene por objeto facilitar el aprovechamiento, tratamiento o comercialización de los residuos mediante la separación sanitaria y segura de sus componentes.

La segregación de residuos sólidos sólo está permitida en la fuente de generación y en la instalación de tratamiento operada por una EPS-RS o una municipalidad, en tanto sea una operación autorizada, o respecto de una EC-RS cuando se encuentre prevista la operación básica de acondicionamiento de los residuos previa a su comercialización.

Los gobiernos locales deben promover la implementación de plantas de tratamiento dentro de los rellenos sanitarios para que los recicladores organizados puedan segregar los residuos reutilizables para su comercialización.

c) Almacenamiento

Es la operación de acumulación temporal de residuos en condiciones técnicas adecuadas, como parte del sistema de manejo hasta su disposición final.

d) Comercialización de residuos sólidos

La comercialización de residuos sólidos es aquella acción a través de la cual las empresas comercializadoras de residuos sólidos (EC-RS) autorizadas por DIGESA compran y venden residuos sólidos provenientes de la segregación.

e) Recolección y transporte

La acción de recoger los residuos sólidos y trasladarlos usando un medio de locomoción apropiado, para luego continuar su posterior manejo, en forma sanitaria, segura y ambientalmente adecuada.

Puede ser convencional, a través del uso de compactadoras debidamente equipadas; semi convencional, realizada a través del uso de volquetes o camiones; o no convencional, mediante el uso de carretillas, triciclos, moto furgonetas entre otros.

Notas.-

e.1. Es importante que los ciudadanos cumplan los horarios de recojo de residuos sólidos domiciliarios establecidos por la municipalidad. Ello evitará que los animales, vehículos, segregadores informales, entre otros, manipulen las bolsas de basura y se propaguen los residuos en la vía pública.

e.2. El uso de equipos y vehículos inadecuados produce pérdidas de residuos en la operación de transporte, así como la dispersión de materiales y papeles si se transportan en vehículos abiertos.

f) Transferencia

La transferencia de residuos sólidos se realiza en una instalación o infraestructura en la cual se descargan y almacenan temporalmente los residuos de las unidades de recolección para, luego, continuar con su transporte en unidades de mayor capacidad hacia un lugar autorizado para la disposición final.

Los residuos no deben permanecer en estas instalaciones, toda vez que se corre el riesgo de su descomposición. Las instalaciones de transferencia no deben ubicarse en áreas de zonificación residencial, comercial o recreacional. La transferencia de los residuos sólidos puede realizarse a través de:

- Descarga directa: realizada hacia vehículos denominados camiones madrina.
- Descarga indirecta: los residuos son descargados en una zona de almacenamiento y, con ayuda de maquinaria adecuada, son llevados a instalaciones de procesamiento o compactación.

La transferencia de residuos logra optimizar los costos de transporte, el uso de los vehículos de recolección y el flujo de transporte.

g) Tratamiento

Es el proceso, método o técnica que tiene por objeto modificar las características físicas, químicas o biológicas de los residuos sólidos, reduciendo o eliminando su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente. También permite reaprovechar los residuos, lo que facilita la disposición final en forma eficiente, segura y sanitaria.

h) Disposición final

Es la última etapa del manejo de residuos sólidos, en que estos se disponen en un lugar, de forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

La disposición final de residuos sólidos de gestión municipal se realiza mediante el método de relleno sanitario y la disposición final de residuos del ámbito no municipal se realiza mediante el método de relleno de seguridad.

- El Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos precisa que el relleno sanitario es una infraestructura de disposición final, debidamente equipada y operada, que permite disponer los residuos sólidos de manera sanitaria y ambientalmente segura.
- El diseño y ejecución de un relleno sanitario responde a un proyecto de ingeniería y la aprobación del correspondiente estudio de impacto ambiental por parte de la entidad competente, y su operación debe realizarse en estricto cumplimiento del diseño y de las obligaciones ambientales establecidas en el instrumento de gestión aprobado y la normativa vigente.

Las etapas del manejo de residuos sólidos municipales se representan de manera resumida en la Figura 1. El presente estudio se centra sólo en el diseño del relleno sanitario, cuyos detalles se muestran en el siguiente capítulo.

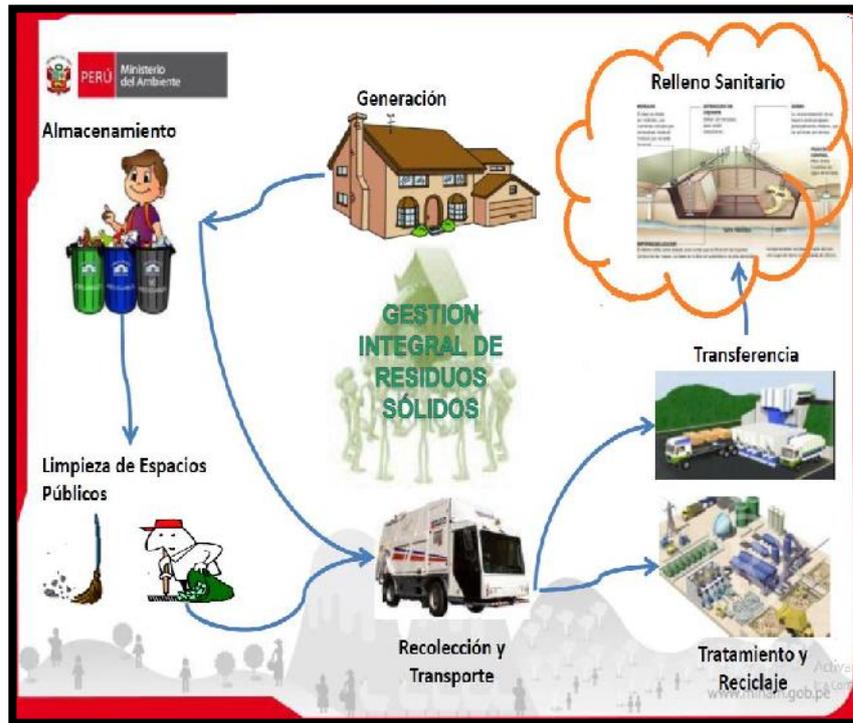


Figura 1. Gestión Integral de Residuos Sólidos - Perú

Fuente: Bolaños, 2014.

3.2.3.2. Disposición inadecuada de residuos sólidos

La disposición inadecuada de residuos sólidos genera severos impactos en el ambiente. Algunos ejemplos de ello son:

- a) **La contaminación del agua:** el agua superficial se contamina cuando se arrojan residuos sólidos a los cuerpos de agua (ríos, arroyos, lagos). El agua subterránea se contamina por los lixiviados (líquidos generados por la descomposición de residuos orgánicos), que se filtran en el suelo de los botaderos (Sosa, 2011).
- b) **Contaminación del suelo:** las descarga directa de residuos sólidos en lugares de disposición inadecuados genera un impacto sobre el suelo, al no encontrarse impermeabilizado. La disposición inadecuada también afecta el recurso paisaje.

- c) **contaminación del aire:** la descomposición de los residuos, junto con la eventual quema de estos, genera la emisión de gases peligrosos. Dichos gases se dividen en:
- **Gases de efecto invernadero.-** La quema de residuos sólidos genera metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), gases de efecto invernadero que retienen el calor y elevan la temperatura de la atmósfera. Estos gases se encuentran listados en el Protocolo de Kioto del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, del cual el Perú es parte.
 - **Compuestos orgánicos persistentes (COP).-** Con la combustión se pueden formar dioxinas y furanos, los cuales son componentes de alto riesgo para el ambiente y la salud de las personas. En el Convenio de Estocolmo, del cual el Perú es parte, se los consideró como compuestos orgánicos persistentes (COP), los cuales son altamente tóxicos y tienen un tiempo de persistencia muy largo en el ambiente.
 - **Degradadores de la capa de ozono:** Hay productos que, debido a los agentes químicos utilizados en su elaboración, generan ciertos gases conocidos como clorofluorocarbonos (CFC). Por ejemplo, los aerosoles, pinturas y desodorantes.

3.2.4. El Manejo Integral de los RSM

Es un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas de la gestión y manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios, ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.

El manejo integral de residuos sólidos también se define como la aplicación de técnicas, tecnologías y programas para lograr objetivos y

metas óptimas para una localidad en particular. Para ello, es necesario considerar los factores propios de cada localidad para asegurar su sostenibilidad y beneficios, así como establecer e implementar un programa de manejo acorde a ellos (Brown, 2003).

Este programa debe optimizar, en lo posible, los siguientes aspectos (Brown, 2003):

- a) **Aspectos técnicos:** la tecnología debe ser de fácil implementación, operación y mantenimiento.
- b) **Aspectos sociales:** se deben fomentar hábitos positivos en la población y desalentar los negativos, promoviéndose la participación y la organización de la comunidad.
- c) **Aspectos económicos:** el costo de implementación, operación, mantenimiento y administración debe ser eficiente, al alcance de los recursos de la población y económicamente sostenible, con ingresos que cubran el costo del servicio.
- d) **Aspectos organizativos:** la administración y gestión del servicio debe ser simple y dinámico.
- e) **Aspectos de salud:** acciones referidas a la prevención de enfermedades infectocontagiosas.
- f) **Aspectos ambientales:** el programa debe evitar impactos ambientales negativos en el suelo, agua y aire.

3.3. Análisis sectorial regional latinoamericano de residuos sólidos

Si bien existe un mayor nivel de conciencia tanto en las autoridades como en la sociedad en general sobre los impactos negativos del mal manejo de los residuos sólidos, y por ende una mayor decisión política para mejorar la situación en el sector, los problemas que contribuyen a un manejo deficiente de los residuos sólidos en la región siguen siendo los mismos de hace 30 años. Ciertamente la recolección ha mostrado una mejora tecnológica evidente durante este período en términos de

cobertura y calidad. En cuanto a la disposición final, aunque ha mejorado, sigue siendo inadecuada. Otro factor que ha caracterizado este período es la falta de innovación y mejora en otros aspectos de la integralidad del servicio como son la implementación de prácticas de reducción, reusó y reciclado.

3.3.1. El manejo inadecuado de los residuos sólidos y sus impactos sobre la salud y el medio ambiente

La basura no recolectada o que no recibe disposición final sanitariamente segura puede ocasionar un aumento en la prevalencia de enfermedades como el dengue, la leptospirosis y las dolencias gastrointestinales. La mejora en la recolección de residuos, la educación sanitaria doméstica y el cierre de los basurales a cielo abierto son claves en la estrategia de control de enfermedades como el dengue. Las infecciones intestinales también están altamente relacionadas con el manejo inadecuado de los residuos sólidos y constituyen la tercera causa de mortalidad en el grupo de edad de 0 a 4 años en los países de bajos ingreso y la cuarta causa de mortalidad en los países de altos ingresos (PAHO, 2002).

Los impactos negativos potenciales del mal manejo de los residuos en el medio ambiente son evidentes y bien conocidos. A continuación se listan los principales:

- a) Atmosféricos:** Calidad del aire por emisiones de metano y dióxido de carbono, y el impacto de éstos como gases invernadero; emisión de dioxinas y furanos producto de la quema no controlada en basurales (principal fuente de emisiones de estos compuestos orgánicos persistentes o COP) en América Latina, así como de sulfuro de hidrógeno y otros.
- b) Suelos y geomorfología:** Alteración de las propiedades físicas, químicas y de fertilidad; contaminación por presencia de aceites, grasas, metales pesados y ácidos, entre otros residuos; activación

del proceso erosivo y cambio de topografía, entre otros.

c) Aguas superficiales y subterráneas: Afectación de la calidad del agua y alteración de las características hidráulicas.

d) Bióticos: Alteración de la cantidad de biomasa, del tipo de vegetación y fauna.

3.3.2. Generación de residuos sólidos municipales (RSM)

La generación de RSM ocurre en relación directa con el aumento o disminución poblacional y el nivel de actividad económica. América Latina es una de las regiones con mayor nivel de urbanización del planeta: el 78% en promedio de sus 569 millones de habitantes viven en ciudades, mayormente grandes, lo cual produce una alta concentración en la generación de desperdicios y al mismo tiempo un problema difícil de controlar desde el punto de vista ambiental y social. La urbanización en la región sigue aumentando a un nivel de 1,74% anual. En la actualidad existen 58 áreas metropolitanas, siete de ellas con una población superior a los 5 millones de habitantes, y otras 51 en el rango de 1 a 5 millones de habitantes. Se estima que en la próxima década el número de áreas metropolitanas aumentará a 71. En la Tabla 3.2 se resume la generación estimada de RSM en ciudades de América Latina y el Caribe.

El nivel de actividad económica no solamente afecta el volumen de generación sino también la composición de los residuos. Tradicionalmente, en la región la composición se caracterizaba por poseer un alto contenido orgánico (ej.: residuos alimenticios) con un elevado nivel de humedad. Esta situación ha cambiado con la constitución y crecimiento de las áreas metropolitanas en los países de ingreso medio, donde la generación de RSM presenta un contenido mucho mayor de papel, plásticos y materiales reusables o reciclables. Esta situación afecta decididamente las alternativas tecnológicas a seleccionar para ser incluidas en al proceso integral de manejo, al

tiempo que obliga a mantener una cierta actualización en el proceso de caracterización de los residuos.

Tabla 3.

Generación estimada de RSM en ciudades seleccionadas de América Latina y el Caribe, 2005

Ciudad	Población (miles)	Generación total de RSM (ton/día)	Generación per cápita (kg/hab/día)
Sao Paulo (área metropolitana)	18300	36417	1.99
Buenos Aires (área metropolitana)	12544	14551	1.16
Ciudad de México (área metropolitana)	18450	21600	1.17
Santiago de Chile (área metropolitana)	5300	6254	1.18
Lima, Perú (área metropolitana)	6901	4830	0.70
Bogotá, Colombia	6558	4721	1.43
Caracas, Venezuela	1836	2019	1.10
Quito, Ecuador	1841	1986	0.72

Fuente: PAHO, 2002.

3.3.3. Disposición final inadecuada

En la región, la disposición final es altamente deficiente, siendo ésta la etapa del servicio integral que mayor impacto negativo presenta en términos sanitarios y ambientales. Solo el 23% de los RSM recolectados (17% de los generados) son dispuestos en rellenos sanitarios, mientras que otro 24% se destina a rellenos controlados. El resto se descarta en basurales a cielo abierto, en cursos de agua o se queman directamente. Al igual que en la recolección, existe una diferencia notoria entre las grandes ciudades, donde más del 60% de los residuos sólidos recibe una disposición final adecuada, y las medianas, pequeñas y áreas rurales, donde predomina el relleno controlado o “vertedero controlado”, y el vertedero a cielo abierto, o “vertedero no controlado”.

En América Latina y el Caribe, la tendencia ha sido la de utilizar el relleno sanitario como método usual de disposición final. Sin embargo, las prácticas inadecuadas que se han aplicado durante las últimas tres décadas han llevado a la población en general a confundir el “vertedero controlado” o el “vertedero no controlado” con el relleno sanitario. Esta situación ha generado un fuerte efecto de oposición social hacia la instalación de rellenos sanitarios como alternativa de disposición final. Este problema se agudizado por la falta de actualización y puesta en práctica de políticas de minimización, reúso y reciclado (BID, 2009).

3.3.4. Minimización nula, reciclaje limitado y separación informal

Si bien la minimización y el reciclado son componentes esenciales del sistema de manejo de RSM, en América Latina y el Caribe estas actividades no han tenido un desarrollo significativo. Una característica común a toda la región es el predominio del sector informal en las actividades de recuperación y reciclado de residuos. La OPS estima que existen más de 500.000 trabajadores informales de la basura, de los cuales un 29% son mujeres y un 42% niños (PAHO, 2002).

La experiencia demuestra que el único modo de incrementar sustancialmente el nivel de separación y reciclado es incentivando la recolección selectiva domiciliaria. De esta manera, los productos reciclables son recolectados antes de ser compactados, destruidos o contaminados por 15 otros durante su recolección y transporte. Esta práctica es sumamente incipiente en la región, y las razones de fondo para que así sea son tanto económicas como técnicas y de educación ambiental. Dado el alto costo de aplicar la recolección selectiva domiciliaria, una propuesta es la de incluir al sector informal en dicha recolección.

3.4. Situación de los residuos sólidos en el Perú

3.4.1. Origen del Problema de los Residuos Sólidos en el Perú

En la Presentación de las Metas 2014 del Plan de Incentivos a la Mejora de la Gestión y Modernización municipal, presentado por el Ministerio del Ambiente, se estable en resumen las siguientes situaciones problemáticas sobre los residuos sólidos:

- Modelo de consumo inadecuado
- Gestión local poco comprometida
- Gestión sectorial insuficiente
- Recursos humanos insuficientes
- Recursos económicos insuficientes
- Falta de educación ambiental en la población
- Baja cultura de cobro y/o pago
- Excesivos trámites burocráticos

3.4.2. Generación per cápita – GPC- de residuos solidos

Según el Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y no-Municipales, gestión 2010-2011, el promedio nacional de GPC llegó a 0.61 kg/hab/día, lo cual significó 19734.75 ton/día del cual 80% es reaprovechable (52% orgánico y 28% inorgánico).

En el Sexto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y no-Municipales 2013 (Ministerio del Ambiente 2014), se resume que la generación de residuos sólidos municipales fue de 18 533 t/día considerando exclusivamente el ámbito urbano del país, la recolección convencional de residuos alcanzó una cobertura promedio del 87,5 %, logrado transportar 16 216 t/día, de los cuales 7 656 t/día terminaron en una infraestructura de disposición final autorizada, 8 560 t/día terminaron vertidos en botaderos municipales y 300,3 t/día terminaron en otros destinos no especificados. El mismo informe indica que la generación per cápita (GPC) de residuos sólidos calculada para el año 2013 fue 0,56 kg/hab/día a nivel nacional, los valores representativos para la Costa, Sierra y Selva fueron de 0,588, 0,513 y 0,553 kg/hab./día

respectivamente, observándose para todos los casos que la GPC muestra una tendencia de disminución de sus valores. La generación anual de residuos urbanos alcanzó cerca de los 6,8 millones de toneladas, de los cuales el 73 % corresponden a residuos sólidos domiciliarios y el 27 % restante a los residuos no domiciliarios.

En el Sexto Informe también se concluye que la composición física de los residuos sólidos mostró una predominancia de los residuos orgánicos con el 50,43 % y los materiales con evidente potencial de reciclaje representaron un 23,7 % (plástico, papel, cartón, metales y vidrio). La generación domiciliaria de residuos se ha venido incrementando desde el año 2009 hacia el 2013, pasando de 4,2 a cerca de 5,0 millones de toneladas por año; este incremento guarda relación directa con el incremento del PBI per cápita nacional, que también ha tenido un crecimiento ascendente pasando de 16 200 a 18 900 soles/hab./año.

En la Tabla 3. Se resume los GPC de residuos sólidos a nivel nacional, indicando el % de materia orgánica biodegradable.

Tabla 4
Generación Per Cápita de Residuos Sólidos Municipales, 2008- 2013

Informe Nacional de RS	GPC Kg/hab/día	% de materia orgánica
2008	0.600	55.14
2009	0.798	60.00
2010	0.845	50.19
2011	0.610	48.9
2012	0.597	50.9
2013	0.560	50.43

Fuente: Elaboración propia en base a los Informes Nacionales de los Residuos Sólidos de ámbito municipal y no municipal: 2008 – 2013.

Las grandes urbes, como Arequipa, La Libertad, Lambayeque y Piura en el 2013 tuvieron una generación de residuos de 581062, 780558, 490205 y 811542 kg/día, que transformado a GPC fueron 0.487, 0.540, 0.511 y 0.586 kg/hab./día respectivamente. Respecto al contenido de materia orgánica en los residuos sólidos las ciudades mencionadas anteriormente llegaron a 45.48%, 52.18%, 51.64% y 39.92%.

3.4.3. Caracterización de los Residuos Sólidos en el Perú

Basado en los estudios de caracterización de residuos sólidos reportada al Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos - Sigersol - hasta el mes de octubre de 2014 se hace la representación de la Figura 2.



Figura2. Composición física de residuos sólidos a nivel nacional, porcentaje (%)

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2014.

3.4.4. Entidades Vinculadas a la Gestión, Manejo y Fiscalización Ambiental de los Residuos Sólidos Municipales

3.4.4.1. Ministerio del Ambiente

El Ministerio del Ambiente (MINAM) es competente para promover la adecuada gestión de residuos sólidos, conforme al Sistema Nacional de Gestión Ambiental establecido por la Ley N° 28245 y la aprobación de políticas, planes y programas de gestión integral de residuos sólidos.

El MINAM aprueba la Política Nacional de Residuos Sólidos y coordina con las autoridades sectoriales y municipales para garantizar su cumplimiento, así como la observancia de las disposiciones que regulan el manejo y la gestión de los residuos sólidos. Así, por ejemplo, impulsa la implementación de infraestructuras de residuos sólidos y el Plan de Incentivos para la gestión de residuos sólidos con el objetivo de fortalecer la gestión y el manejo de los mismos. También promueve la elaboración y aplicación de planes integrales de gestión ambiental de residuos sólidos (Pigars) en las distintas ciudades del país, de conformidad con lo establecido en la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.

3.4.4.2. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) es el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (SINEFA), y tiene a su cargo el seguimiento y verificación del desempeño de las entidades de fiscalización ambiental (EFA) de ámbito nacional, regional o local.

En ese sentido, el OEFA es la autoridad encargada de supervisar que las municipalidades cumplan con desarrollar sus funciones de fiscalización ambiental en materia de residuos sólidos. Asimismo, recoge información sobre el manejo y la gestión de los mismos con

el objeto de articular las acciones locales para la adecuada disposición de los residuos sólidos de gestión municipal.

3.4.4.3. La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA)

La Dirección General de Salud Ambiental (Digesa) del Ministerio de Salud es el órgano técnico normativo en los aspectos relacionados con el saneamiento básico, salud ocupacional, higiene alimentaria, zoonosis y protección del ambiente. En tal sentido, propone y hace cumplir la política nacional de salud ambiental, a fin de controlar los agentes contaminantes y mejorar las condiciones ambientales para la protección de la salud de las personas.

Con relación al manejo y gestión de los residuos sólidos municipales, la Digesa es competente para aprobar los estudios ambientales y emitir opinión técnica favorable de los proyectos de infraestructura de residuos sólidos del ámbito municipal, previamente a su aprobación por la municipalidad provincial correspondiente. Asimismo, le corresponde administrar y mantener actualizado el Registro de Empresas Prestadoras de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS), el Registro de Empresas Comercializadoras de Residuos Sólidos (EC-RS) y el Registro de Supervisores de Residuos Sólidos, los cuales son fundamentales en el manejo y gestión de los residuos.

3.4.4.4. Los Gobiernos Regionales

La Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos establece que los gobiernos regionales promueven la adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos en el ámbito de su jurisdicción. En ese sentido, le corresponde priorizar programas de inversión pública o mixta, para la construcción, puesta en valor o adecuación ambiental y sanitaria de la infraestructura de residuos sólidos en el ámbito de su jurisdicción territorial, en coordinación con las municipalidades provinciales correspondientes (Artículo 9° de la Ley N° 27314 - Ley

General de Residuos Sólidos, modificado por el Decreto Legislativo N° 1065).

En caso de que los gobiernos locales no puedan hacerse cargo del manejo y gestión de los residuos sólidos en forma adecuada, o que estén comprendidas en el ámbito de una declaratoria de emergencia sanitaria o ambiental, el gobierno regional debe asumir en coordinación con la autoridad de salud de su jurisdicción y el Ministerio del Ambiente, o a pedido de cualquiera de dichas autoridades, según corresponda la prestación de los servicios de residuos sólidos para complementar o suplir la acción de aquellas municipalidades provinciales o distritales.

3.4.4.5. Los Gobiernos Locales

Las municipalidades provinciales

Las municipalidades provinciales son responsables por la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a estos, en todo el ámbito de su jurisdicción territorial. Para ello, pueden suscribir contratos de prestación de servicios con empresas registradas en la Digesa, regulando y fiscalizando el manejo y la prestación de dichos servicios.

En ese sentido son competentes para planificar la gestión integral de los residuos sólidos en el ámbito de su jurisdicción, compatibilizando los planes de manejo de residuos sólidos de sus distritos y centros poblados menores, con las políticas de desarrollo local y regional, y con sus respectivos planes de acondicionamiento territorial y de desarrollo urbano.

Son la autoridad competente para aprobar los proyectos de infraestructura de residuos sólidos de gestión municipal. Estas deben incluir en la zonificación provincial las áreas en las que se podrán desarrollar dichos proyectos.

Las municipalidades distritales

Las municipalidades distritales deben asegurar una adecuada prestación del servicio de limpieza, recolección y transporte de residuos en su jurisdicción a fin de garantizar la adecuada disposición final de estos. Entre sus funciones se encuentra determinar las áreas a ser utilizadas por la infraestructura de residuos sólidos en su ámbito de competencia territorial, en coordinación con la municipalidad provincial respectiva. Estas entidades también cumplen con la labor de asegurar que se cobren tarifas o tasas por la prestación de servicios de limpieza pública, recolección, transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de residuos, de acuerdo los criterios que la municipalidad provincial establezca.

3.5. Residuos sólidos en provincia de Chiclayo

La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales problemas que enfrentan actualmente los gobiernos locales como Chiclayo; problemática que tiene su origen en diversos factores de índole económico, social, cultural y tecnológico. Entre los factores que más contribuyen y agravan esta problemática tenemos: la cantidad cada vez mayor de residuos que genera la población, la crisis económica que ha obligado en muchos casos a no realizar un cobro por los servicios prestados, el uso político del tema en las campañas electorales, la falta de educación y participación sanitaria de la comunidad, la formación de grandes botaderos de residuos, entre otros.

De acuerdo al Informe 2013-2014 de la Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial, realizada por la OEFA, la municipalidad de Chiclayo no cuenta con planes de cierre y clausura de su botadero situado en las pampas de Reque. Tampoco hay promoción la formalización de los recicladores en el la provincia, ni

se promueve el manejo y la segregación de residuos de aparatos electrónicos y eléctricos – RAEE.

3.5.1. Disposición Final de RS de provincia de Chiclayo

En el caso de Chiclayo una vez terminada la recolección de los residuos sólidos, los vehículos se dirigen al “Botadero de Chiclayo” para la descarga de los mismos, este botadero está ubicado aproximadamente a la altura del km 763 de la Panamericana Norte en la provincia de Zaña. El botadero de Chiclayo es a cielo abierto y no cuenta con ningún tipo de control, y por lo tanto no cumple con las condiciones mínimas para el control o minimización de los impactos ambientales originados por la descarga descontrolada de los residuos sólidos. El tiempo promedio que tarda un vehículo de recolección desde el sector de trabajo hasta el botadero es de 45 minutos.

Por lo anteriormente mencionado se puede afirmar que los residuos sólidos del distrito de Chiclayo no cuentan con una disposición final ni sanitaria ni ambientalmente adecuada. Lo mismo podemos afirmar de los distritos de José Leonardo Ortíz, La victoria y Reque, quienes vierten sus residuos en el botadero denominado “Botadero de Reque”. Asimismo el distrito de Pimentel, dispone sus residuos sólidos de manera inadecuada en un botadero a cielo abierto denominado “Botadero de Santa Rosa”, este botadero, recibe principalmente los residuos de este distrito, pero hasta hace algunos años los distritos de Monsefú y Puerto Etén descargaban también en este botadero. En la actualidad el distrito de Monsefú realiza la descarga de sus residuos en el “Botadero de Poemape”, y el distrito de Etén Puerto en el “Botadero de Villa El Milagro” (Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012).

3.6. Definición De Términos

En base a la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos se aplican las siguientes definiciones:

- **Botadero:** Acumulación inapropiada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Carecen de autorización sanitaria.
- **Declaración de manejo de residuos sólidos:** Documento técnico administrativo con carácter de declaración jurada, suscrito por el generador, mediante el cual declara cómo ha manejado y va a manejar durante el siguiente período los residuos sólidos que están bajo su responsabilidad. Dicha declaración describe el sistema de manejo de los residuos sólidos de la empresa o institución generadora y comprende las características de los residuos en términos de cantidad y peligrosidad; operaciones y procesos ejecutados y por ejecutar; modalidad de ejecución de los mismos y los aspectos administrativos determinados en los formularios correspondientes.
- **Disposición final:** Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.
- **Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos:** Persona jurídica que presta servicios de residuos sólidos mediante una o varias de las siguientes actividades: limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia, tratamiento o disposición final de residuos sólidos.
- **Generador:** Persona natural o jurídica que en razón de sus actividades genera residuos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considerará como generador al poseedor de residuos sólidos

peligrosos, cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección.

- **Gestión de residuos sólidos:** Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de los residuos sólidos de ámbito nacional, regional y local.
- **Manejo de residuos sólidos:** Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.
- **Manejo integral de residuos sólidos:** Es un conjunto de acciones normativas, financieras y de planeamiento que se aplica a todas las etapas del manejo de residuos sólidos desde su generación, basándose en criterios sanitarios, ambientales y de viabilidad técnica y económica para la reducción en la fuente, el aprovechamiento, tratamiento y la disposición final de los residuos sólidos.
- **Manifiesto de manejo de residuos sólidos peligrosos:** Documento técnico administrativo que facilita el seguimiento de todos los residuos sólidos peligrosos transportados desde el lugar de generación hasta su disposición final. El Manifiesto de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos deberá contener información relativa a la fuente de generación, las características de los residuos generados, transporte y disposición final, consignados en formularios especiales que son suscritos por el generador y todos los operadores que participan hasta la disposición final de dichos residuos.
- **Minimización:** Acción de reducir al mínimo posible el volumen y peligrosidad de los residuos sólidos, a través de cualquier

estrategia preventiva, procedimiento, método o técnica utilizada en la actividad generadora.

- **Operador:** Persona natural que realiza cualquiera de las operaciones o procesos que componen el manejo de los residuos sólidos, pudiendo ser o no el generador de los mismos.
- **Planta de transferencia:** Instalación en la cual se descargan y almacenan temporalmente los residuos sólidos de los camiones o contenedores de recolección, para luego continuar con su transporte en unidades de mayor capacidad.
- **Reaprovechar:** Volver a obtener un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo que constituye residuo sólido. Se reconoce como técnica de reaprovechamiento el reciclaje, recuperación o reutilización.
- **Reciclaje:** Toda actividad que permite reaprovechar un residuo sólido mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines.
- **Recuperación:** Toda actividad que permita reaprovechar partes de sustancias o componentes que constituyen residuo sólido.
- **Relleno sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.
- **Residuos agropecuarios:** Son aquellos residuos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros.
- **Residuos comerciales:** Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como: centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, centros de convenciones o espectáculos, oficinas de trabajo en general, entre otras actividades comerciales y laborales análogas. Estos residuos están constituidos

mayormente por papel, plásticos, embalajes diversos, restos de aseo personal, latas, entre otros similares.

- **Residuos domiciliarios:** Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.
- **Residuos de las actividades de construcción:** Son aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como: edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otras afines a éstas.
- **Residuos de los establecimientos de atención de salud** Son aquellos residuos generados en los procesos y en las actividades para la atención e investigación médica en establecimientos como: hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos, consultorios, entre otros afines. Estos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos o que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro, tales como: agujas hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos, restos de comida, papeles, embalajes, material de laboratorio, entre otros.
- **Residuos de instalaciones o actividades especiales:** Son aquellos residuos sólidos generados en infraestructuras, normalmente de gran dimensión, complejidad y de riesgo en su operación, con el objeto de prestar ciertos servicios públicos o privados, tales como: plantas de tratamiento de agua para consumo humano o de aguas residuales, puertos, aeropuertos, terminales terrestres, instalaciones navieras y militares, entre otras; o de aquellas actividades públicas o privadas que movilizan recursos humanos, equipos o infraestructuras, en forma eventual, como conciertos musicales, campañas sanitarias u otras similares.

- **Residuos de limpieza de espacios públicos:** Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas.
- **Residuos industriales:** Son aquellos residuos generados en las actividades de las diversas ramas industriales, tales como: manufacturera, minera, química, energética, pesquera y otras similares. Estos residuos se presentan como: lodos, cenizas, escorias metálicas, vidrios, plásticos, papel, cartón, madera, fibras, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.
- **Responsabilidad compartida:** Es un sistema en el que se atribuye a cada persona la responsabilidad por los residuos que genera o maneja en las distintas etapas de la vida de un producto o del desarrollo de una actividad en las que ella interviene.
- **Reutilización:** Toda actividad que permita reaprovechar directamente el bien, artículo o elemento que constituye el residuo sólido, con el objeto de que cumpla el mismo fin para el que fue elaborado originalmente.
- **Riesgo significativo:** Alta probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias indeseables para la salud y el ambiente.
- **Segregación:** Acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial.
- **Semisólido:** Material o elemento que normalmente se asemeja a un lodo y que no posee suficiente líquido para fluir libremente.
- **Subproducto** Producto secundario obtenido en toda actividad económica o proceso industrial.
- **Tratamiento:** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

3.7. Sistema de generación de biogás

El volumen de biogás generado determina la vía de aprovechamiento a elegir, entre la más eficaz se encuentra la generación de energía eléctrica y térmica. Los porcentajes varían en función de la composición del residuo, la edad del vertido y temperaturas ambientales (Bueso, Samayoa y Víquez, 2012).

En la Figura 3 se muestran aplicaciones destinadas a la generación de energía.



Figura 3: Usos del Biogás.

Fuente: Bueso, Samayoa y Víquez, 2012

3.7.1. Etapas del proceso de generación de biogás

El proceso de producción de biogás se da por diferentes factores, y lo más importante de su producción es que el metano sea el de mayor contenido. En la Figura 4 se muestra las etapas que componen el proceso de digestión anaerobia.

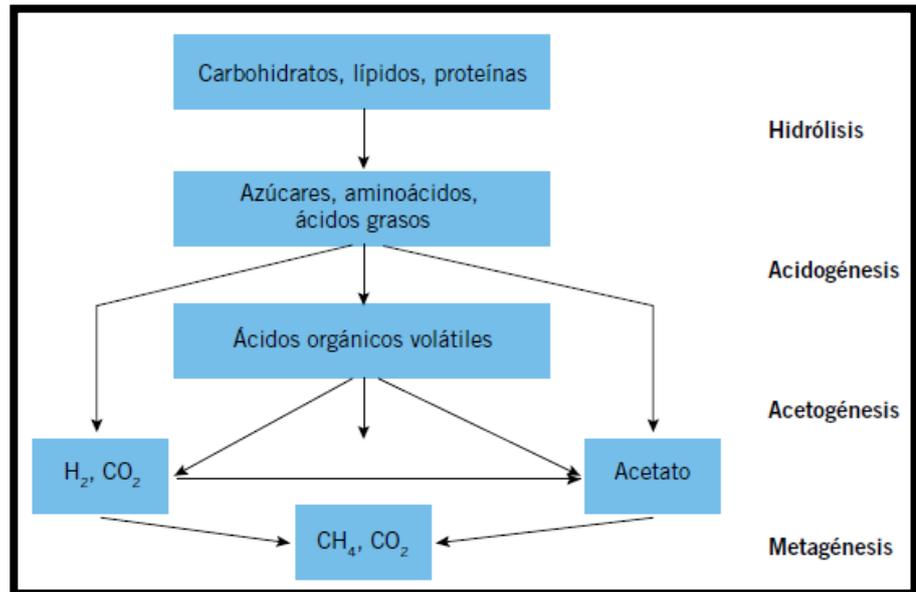


Figura 4: Etapas del proceso de generación de biogás.

Fuente: Silva, 2002

Las etapas que componen el proceso de digestión anaerobia son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Silva, 2002).

Hidrólisis

En esta etapa las bacterias hidrolíticas actúan sobre los compuestos orgánicos de gran tamaño del sustrato, tales como celulosa, almidones, proteínas y grasas; transformándolos por hidrólisis en compuestos orgánicos solubles. Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles (lípidos, proteínas y carbohidratos) en otros compuestos más sencillos y solubles en agua. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

Acidogénesis

Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles (acetato,

propionato, butirato), alcoholes y otros subproductos importantes para etapas posteriores (amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono). Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaerobias o facultativas.

Acetogénesis

Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por un grupo de bacterias que aportan el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de digestión anaerobia es generar los sustratos (hidrógeno, dióxido de carbono y acetato) para las bacterias metanogénicas. Las bacterias acetogénicas son microorganismos que viven en estrecha colaboración con las archaeas metanogénicas. Estos microorganismos son capaces de transformar los ácidos grasos resultantes de la etapa anterior en los sustratos propios de la metanogénesis.

Metanogénesis

Una vez formados los ácidos orgánicos, dos nuevas categorías de bacterias entra en acción, aquellas que convierten el acetato en metano y dióxido de carbono (acetoclásticos) y aquellas que combinan el dióxido de carbono y el hidrógeno para producir metano y agua (hidrotrofos). A diferencia de lo que ocurre con la fase acidogénica, el metabolismo de estas bacterias es más lento y además, son mucho más sensibles a distintas condiciones ambientales, tales como pH y temperatura. Actúan las bacterias especializadas, degradando estos ácidos y alcoholes, obteniéndose como productos finales del proceso metabólico gas metano, principal componente del biogás.

3.7.2. Otras obras auxiliares

3.7.2.1. Cerco perimetral

El acceso a la operación del relleno sanitario puede controlarse mediante la construcción de un cerco perimetral, el cerco perimetral permite:

- Mantener fuera a personas ajenas al sitio, así como perros y animales grandes.
- Aislar visualmente el relleno sanitario.
- Delimitar la línea de propiedad y mantener un orden y seguridad.
- Ayudar a controlar los residuos sólidos desparramados por el viento.
- Perímetro estimado: 8076.11 m.
- Altura del cerco perimetral (mínimo): 1.80 m
- Tramos de perímetro de difícil acceso se debe colocar hitos cada 50 m.

3.7.2.2. Área de amortiguamiento y protección

El área de amortiguamiento deberá diseñarse y construirse en un espacio perimetral que fluctúe entre 15 y 30 m. Esta franja deberá estar forestada con especies vegetales que reduzcan la salida de polvo, ruido, y materiales ligeros durante la operación, además impedirán que los transeúntes vean los residuos sólidos y la operación en sí del relleno. Entre las especies arbóreas que se recomiendan son el pino, eucalipto, laurel, bambú, etc.

3.7.2.3. Caseta de control

La construcción de una caseta con un área determinada es importante para ser usada como control de ingreso esta caseta deberá tener una mesa o escritorio y una o varias sillas, a fin de que el supervisor lleve más cómodamente el registro de las actividades.

3.7.2.4. Instalaciones sanitarias y eléctricas

Un relleno sanitario convencional debe contar con los servicios de saneamiento básico y las instalaciones eléctricas, este permitirá bienestar a los trabajadores. La electricidad se empleará para la iluminación y la energía. Estos dos usos son casi esenciales si el mantenimiento y la reparación de equipos se realizan en el lugar. La electricidad puede producirse en el sitio a través de un generador portátil. El agua debe estar disponible para bebida, control de incendios, control de polvo y saneamiento de los empleados. Si en el caso que el acceso al alcantarillado sea difícil las aguas residuales domésticas pueden descargarse en un sistema séptico con un campo de lixiviación.

3.7.2.5. Zona de básculas

Es necesario tener un buen conocimiento de las cantidades gravimétricas y volumétricas de los residuos sólidos entregados al sitio de disposición final por ser esencial en el desarrollo y ejecución de la recolección de residuos sólidos y en las estrategias de relleno sanitario, así como en el reglamento y control de la operación del relleno sanitario.

Las estimaciones volumétricas de los residuos sólidos que ingresan a un relleno sanitaria son subjetivas y, por lo tanto, pueden tener una inexactitud significativa; en consecuencia, hasta cierto punto, todos los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario deberían ser pesados.

El tipo de básculas recomendable para un relleno sanitario convencional o mecanizado consisten básculas electrónicas automatizadas de capacidad aproximada de 50 toneladas y que debe calibrarse por el organismo competente periódicamente.

La balanza debe ser capaz de pesar el vehículo más grande que usualmente llegue al relleno sanitario; sería el límite adecuado en la

mayoría de los casos. Idealmente, la plataforma debe ser lo suficientemente larga para acomodar todos los ejes del vehículo de manera simultánea. Una alternativa, en caso de que los recursos financieros sean limitados, es el uso de una balanza más corta donde se mida individualmente el peso en el eje frontal y luego en el eje trasero.

3.7.2.6. Oficinas administrativas

Es recomendable dar un confort a los empleados y proporcionar espacio a la oficina. La construcción de las oficinas administrativas facilita en mantener un registro y la realización de las actividades administrativas. Esta infraestructura deberá contar con previsiones para detectar, controlar y prevenir de la acumulación del gas.

3.7.2.7. Instalaciones para el mantenimiento de vehículos

Las provisiones para el lavado de vehículos deben incluirse en el diseño de la instalación si existe adecuado abastecimiento de agua. El lavado de vehículos se refiere a la limpieza general del equipo empleado en el relleno sanitario y al lavado de las ruedas de los vehículos de recolección.

Los requisitos para el lavado de vehículos son:

- Fuente de agua confiable,
- Bomba u otros medios para esparcir el agua a presión
- Área de lavado con control de la escorrentía.

El área de lavado debe tener una superficie pavimentada para evitar la formación de lodo y debe tener rebordes o bermas para desviar la escorrentía hacia un canal de recolección. Como en el caso del diseño de los otros sistemas de drenaje en el relleno sanitario, los canales deben protegerse de la erosión. La escorrentía cargada de sedimentos debe desviarse hacia una trampa o laguna de sedimentación. A menudo, es posible dirigir esta escorrentía hacia

el drenaje del relleno sanitario principal y hacia el sistema de control de la erosión. Una laguna de detención de aguas pluviales o un estanque de almacenamiento empleado para casos de incendio puede proveer agua para el lavado de vehículos.

Por lo general, las instalaciones para el lavado de vehículos están ubicadas cerca del área de almacenamiento del equipo y de la salida del relleno sanitario. Las rutas de acceso al relleno sanitario y las rutas públicas pavimentadas requieren el lavado de las ruedas de los vehículos que transportan residuos sólidos, a fin de mantener limpios los caminos. Las áreas de lavado de equipos y de las ruedas pueden ser las mismas o estar colindantes. La ubicación para el lavado de ruedas es a la salida del frente de trabajo y debe ubicarse en un área pavimentada.

3.7.2.8. Cartel de identificación

Es necesario colocar un cartel de presentación del relleno sanitario en construcción para que la comunidad identifique la obra, en donde el deberá figurar el nombre del proyecto de relleno sanitario, ubicación del relleno, entre otros.

3.7.2.9. Impermeabilización y control de líquidos.

Últimamente se ha empleado bastante la arcilla en espesores de 10 a 30 cm, con polietileno de alta densidad entre medios, el espesor de este polietileno oscila entre 1 y 2 mm. Otras geomembranas bastante usadas son el Polietileno cloro sulfonado (Hypalon) y el polivinil clorado (P.V.C.), en ocasiones las geomembranas son usadas con geotextiles (tejidos esponjosos) con el fin de protegerlas de desgarramientos y/o punzonamiento.

3.7.2.10. Área de almacén

Se deberá construir un cobertizo para guardar equipos, herramientas, materiales que sean de uso para el relleno, el tamaño dependerá del equipo que se disponga, camionetas,

traxcavos y deberá tener en el frente un patio de maniobras lo suficientemente grande, para poder recibir vehículos que vengan a descargar materiales al almacén.

Un diagrama esquemático de un relleno sanitario con todos los requisitos del Reglamento.

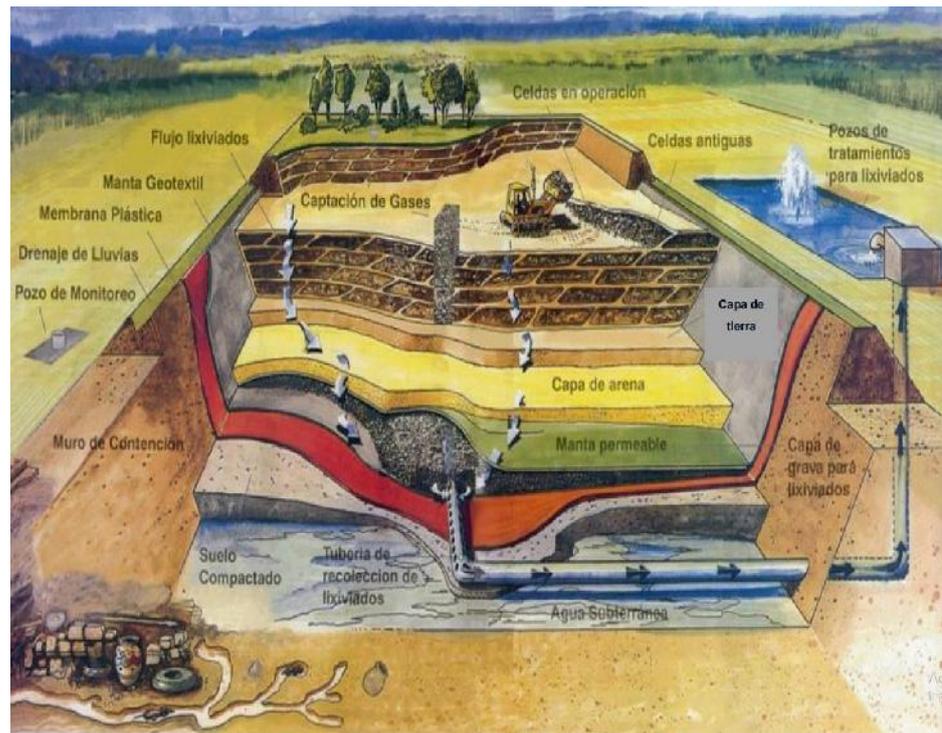


Figura 5. Diagrama esquemático y corte de un relleno sanitario
Fuente: Ministerio del Ambiente, 2013.

4. RESULTADOS

4.1. ESTUDIO DE MERCADO

4.1.1. Generación y características de los residuos sólidos de Chiclayo

La generación de residuos de una localidad es un parámetro que está directamente ligado al número de habitantes de la misma, así como a sus costumbres y hábitos de consumo que son los que determinan la generación per-cápita (GPC) de residuos sólidos, esta GPC, nos permite conocer la generación de residuos sólidos domiciliarios.

En el PIGARS (Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos) de la provincia de Chiclayo del 2012 se determinó que la ciudad de Chiclayo tuvo un GPC de 0.454 kg/hab/día, valor menor que los distritos de José Leonardo Ortiz y La Victoria que alcanzaron niveles de 0.557 y 0.644 respectivamente. El promedio ponderado de toda la provincia de Chiclayo llegó en ese año a 0.511 kg/hab/día.

La cantidad de residuos sólidos municipales de la Provincia de Chiclayo se muestra en la Tabla 4, variando desde 539.72 a 657.62 toneladas para el periodo de 2012 hasta la proyección para el año 2022.

Tabla 5

Generación total de residuos sólidos municipales (ton/día)

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ton/día	539.72	548.40	561.39	574.63	588.17	601.99	616.10	630.51	645.23	660.27	675.62

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012

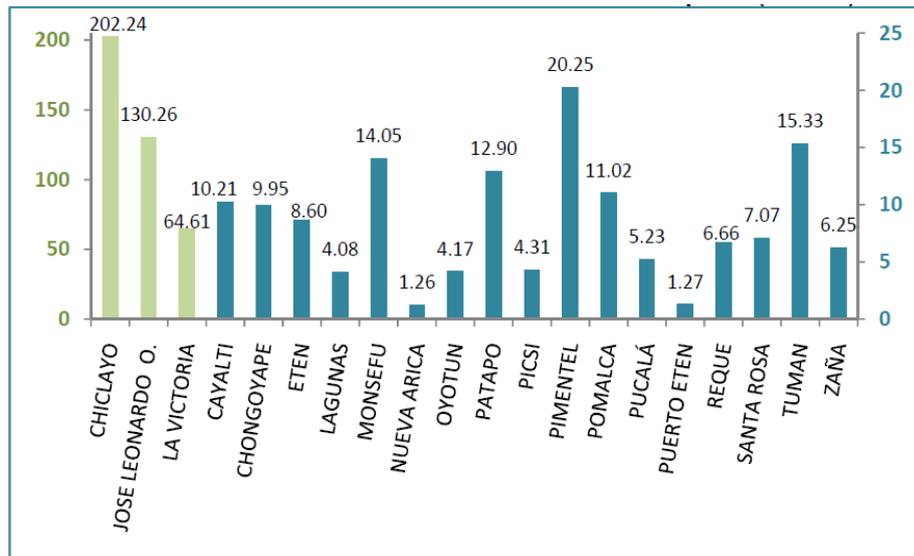


Figura 6. Generación Diaria de Residuos Sólidos Municipales (ton/día)

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012

En la Figura 6 representa la generación diaria de residuos municipales para el año 2012. En la gráfica se puede apreciar que existen dos grupos bien marcados; el primero integrado por los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortíz y La Victoria, que tienen una generación entre 202 a 64 toneladas al día. El segundo grupo lo conforman los otros 17 distritos, donde destacan Pimentel con 20.25 toneladas, seguido de Tuman, Monsefú, Pátapo y Pomalca con un promedio de 13 toneladas.

En la Figura 7 y Tabla 5 se tienen los datos de la composición física promedio de los residuos de la Provincia de Chiclayo. Como se observa, el material predominante en los residuos generados es el material orgánico con 50.65%, mientras que el material reciclable (plásticos, papel, cartón, vidrio y metales) se encuentra en 18.28%.

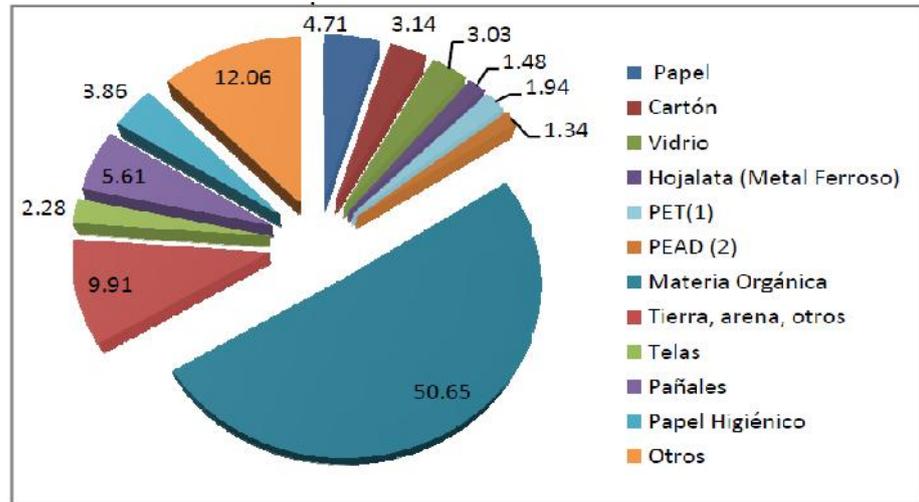


Figura 7. Composición Física Promedio de los Residuos de la provincia de Chiclayo

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, PIGARS, 2012.

4.1.2. MATERIA PRIMA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGAS

Para la generación de gas es necesario contar únicamente con materia orgánica, cuya proyección se detalla en la Tabla N° 5. Y el diseño será con el último año proyectado del 2002 que es de 342.2 ton/ día.

Tabla 6
Proyección de la Materia orgánica 2018 - 2022

Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ton/día	273.36	277.76	284.34	291.05	297.90	304.90	312.05	319.35	326.80	334.42	342.20

Tabla 7**Composición Física Promedio de los Residuos Sólidos Domiciliarios**

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, PIGARS; 2012.

Tipo de Residuo	CHICLAYO	ETEN	JOSE L. ORTIZ	LA VICTORIA	MONSEFU	PATAPO	PIMENTEL	PUERTO ETEN	REQUE	TUMAN	Promedio
Papel	4.635	4.970	1.661	2.074	3.919	10.140	4.333	4.134	4.760	6.500	4.71
Cartón	1.797	10.410	1.548	1.664	1.931	4.340	2.445	2.140	2.715	2.400	3.14
Vidrio	2.095	3.440	0.424	3.684	2.064	10.430	2.450	2.805	1.177	1.700	3.03
Hojalata (Metal Ferroso)	1.294	1.780	0.647	0.339	0.150	3.380	1.500	1.883	0.906	2.900	1.48
Aluminio (Metal No Ferroso)	0.108	1.040	0.028	0.354	0.772	0.560	0.317	0.012	0.039		0.36
PET(1)	1.441	2.870	0.447	0.123	1.054	7.050	2.865	1.140	0.931	1.500	1.94
PEAD (2)	0.510	0.610	1.738	2.260	1.917	0.950	0.582	0.640	1.806	2.400	1.34
PVC (3)	0.299		0.076	0.622	0.184		0.650	0.624	0.114		0.37
PEBD (4)	1.335		0.263	0.380	0.495		0.487	1.497	2.367		0.97
PP (5)	1.063		0.367	0.566	0.459	2.550	0.570	0.765	1.164		0.94
PS (6)	0.210		0.323	0.579	0.170		0.097	0.480	0.841		0.39
Otros (7)	0.544	2.380	0.941	0.436	0.664	5.480	0.375	0.103	0.454	6.300	1.77
Materia Orgánica	63.237	59.790	77.279	38.204	62.401	24.080	40.718	43.439	65.280	32.100	50.65
Tierra, arena, otros	2.358		4.205	21.011	5.302	18.160	5.981	8.073	0.266	23.800	9.91
Telas	1.981		1.650	1.169	3.641	2.140	2.105	2.081	2.325	3.400	2.28
Pañales	5.076		3.494	2.897	5.708		7.714	9.575	4.811		5.61
Papel Higiénico	4.081		1.020	2.094	2.312	6.450	4.690	4.273	2.095	7.700	3.86
Toallas Higiénicas	0.680		0.084	0.328	0.087		0.034	0.446	0.151		0.26
Productos Farmacéuticos	0.096		0.063	0.291	0.072		0.980	0.415	0.131		0.29
Pilas y baterías	0.031	0.130		0.003	0.015		0.020	0.015	0.033	0.400	0.08
Fluorescente y focos	0.059			0.026	0.034		0.522	0.060	0.107		0.13
Otros (Cuero, ceniza, porcelana)	7.071	12.580	3.742	20.896	6.649	4.290	20.565	15.400	7.527	8.900	6.50

La densidad de los residuos sólidos generados en la provincia de Chiclayo varía desde 153.45 a 247.28 kg/m³, teniendo un valor promedio de toda la provincia de 191.58. Ver Tabla 7.

Tabla 8

Densidad de los Residuos Sólidos de la Provincia de Chiclayo

Distritos	Densidad (Kg/m³)
CHICLAYO	178.97
ETEN	177.81
JOSE LEONARDO O.	199.23
LA VICTORIA	195.91
MONSEFU	180.55
PATAPO	247.28
PIMENTEL	159.71
PUERTO ETEN	183.89
REQUE	153.45
TUMAN	239.00
PROVINCIA	191.58

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, PIGARS 2012

La densidad o el peso volumétrico de los residuos sólidos es otro parámetro importante para el diseño del sistema de disposición final de residuos. Los valores de densidad en el caso de basura suelta oscilan entre 200 y 300 kilogramos por metro cúbico. Según la Guía para la construcción, diseño y operación de rellenos sanitarios manuales de la OPS y CEPIS del año 2002, las densidades para residuos recién compactados manualmente se consideran entre 400 y 500 kg/m³, y las densidades para los residuos estabilizados en el relleno sanitario se consideran dentro del rango entre 500 y 600 kg/m³. Comparando los resultados de la Tabla 7 con lo señalado, resulta que los valores encontrados en campo son ligeramente menores a los indicados por dicha guía.

4.2. SELECCIÓN Y DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

4.2.1. Consideraciones para el diseño del relleno sanitario

El diseño integral de un relleno sanitario de acuerdo al Reglamento para Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición final de Residuos sólidos del Ámbito Municipal, requiere inicialmente cumplir algunos requisitos como:

- Estudio de selección del área aprobado por la autoridad de salud de la jurisdicción, el mismo contendrá como mínimo estudios de topografía del área, de hidrología, de geología, de vida útil, disponibilidad de material de cobertura, y otros.
- Estudio de Impacto Ambiental aprobado por la DIGESA;
- Certificación de compatibilidad de uso del suelo para los fines del proyecto de infraestructura, otorgada por la municipalidad provincial correspondiente.
- Título de propiedad del terreno o documento que autorice el uso del terreno para su implementación y operación.

También será necesario cumplir algunas formalidades para la operación del relleno sanitario como la aprobación previa del proyecto y la licencia de funcionamiento otorgadas por la municipalidad provincial de la jurisdicción en donde se implementará dicha infraestructura.

El Artículo 9 del Reglamento para Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición final de Residuos sólidos del Ámbito Municipal indica que todo proyecto de relleno sanitario debe ser formulado, firmado y sellado por un ingeniero sanitario colegiado hábil, y los estudios específicos que lo componen serán suscritos por los profesionales colegiados hábiles de las especialidades respectivas.

En el mismo Reglamento en el **Artículo 15**, que se refiere al Diseño y especificaciones técnicas indica que el expediente técnico del proyecto

de relleno sanitario debe contener los criterios, parámetros y toda información técnica para el diseño, además de las especificaciones técnicas, para las siguientes instalaciones que como mínimo se debe considerar:

- a. Vías de acceso interno.
- b. Distribución funcional del área de la infraestructura.
- c. Barrera sanitaria.
- d. Impermeabilización de la base y taludes de la infraestructura.
- e. Taludes.
- f. Celdas o plataforma.
- g. Drenaje de aguas superficiales.
- h. Drenaje de gases.
- i. Drenaje de lixiviados.
- j. Tratamiento de gases y lixiviados.
- k. Cobertura.
- l. Dispositivos para el monitoreo ambiental.
- m. Sistema de pesaje y registro.
- n. Instalaciones auxiliares como caseta de control, oficina administrativa, almacén, servicios de agua y saneamiento y vestuario, entre otros.
- o. Uso futuro del área de la infraestructura.

En el presente proyecto, en base a la especialidad de Ingeniería Química, se cumple parte del Artículo 15 del Reglamento mencionado anteriormente, básicamente desde el ítem 4 hasta el ítem 12, centrándose en el diseño y dimensionamiento de las celdas de relleno sanitario, así como en la recuperación y tratamiento de gases y lixiviados. Según el diagrama de flujo mostrado en la Figura 8, el presente proyecto se refiere solo al diseño de la parte 7 del diagrama.



Figura 8. Etapas del manejo de residuos sólidos

Fuente: Ministerio del Ambiente, Perú. 2013.

Para el diseño del relleno sanitario se va a considerar las siguientes consideraciones generales:

- a. **Porcentaje de material inerte recuperado:** se considera que en la planta de tratamiento y reciclaje 40% del total de basura será separado para su reutilización. El 60% restante se enviara al relleno sanitario. Del 60% restante, se considera 10% de material inerte como máximo (Sudhakar, 2005).
- b. **Parámetros de diseño del relleno sanitario, recuperación y tratamiento de lixiviados y gases:** serán los indicados en el Reglamento para Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición final de Residuos sólidos del Ámbito Municipal – Capítulo III, Diseño.
- c. **Generación de gases:** los cálculos se basan en el software libre: “Modelo Mexicano de Biogás v.2”.
- d. **Diseño Convencional:** en el proyecto sólo se considera las celdas para disposición de residuos sólidos municipales. No se considera el diseño de celdas para residuos peligrosos, los cuales

tendrán un sitio especial dentro del área dispuesta para el relleno sanitario y cuyos diseños son especiales.

- e. **Población beneficiada:** se considera que los cálculos de diseño se basarán en la población de toda la provincia de Chiclayo, más algunos distritos aledaños que pueden llevar sus residuos sólidos al futuro relleno sanitario.

4.3. UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

Se considera que la ubicación tiene concordancia con el informe de identificación del área seleccionada para disposición final segura de residuos sólidos municipales. Este informe se realiza con la finalidad de conocer si el lugar propuesto como alternativa para la disposición final segura es técnica, ambiental y socialmente adecuada; tomando los criterios de restricción y selección.

La selección final del aire de infraestructura de disposición final de residuos sólidos (IDF-RS) está sujeta al cumplimiento de las disposiciones de zonificación y otras establecidas por la municipalidad, respecto a la seguridad y bienestar de la población en general y, la no afectación del ambiente y la disponibilidad del área donde se construirá. Para ello se tendrá en cuenta los criterios técnicos establecidos en el artículo 67º del Reglamento de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.

En el 2010 se realizó un Contrato e Transferencia de Propiedad Predial Interestatal Fuerza Aérea del Perú y Municipalidad Provincial de Chiclayo, donde en Clausula Segunda, Objetivos del Contrato, 2.4 indica "Transferir a favor de "LA MUNICIPALIDAD" una extensión de Cuatrocientas (400) hectáreas de terreno indicado en los Anexos 1 y 2, de propiedad de "LA FAP", para que sea destinada al desarrollo del Proyecto de implementación de una Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Municipales y sus componentes necesarios, cuya finalidad será descontaminar el Polígono de Tiro y que permitirá su uso sin poner en peligro la seguridad de los vuelos militares y comerciales,

disminuyendo con ello el peligro aviario” (Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2010). La ubicación exacta se muestra en la Figura 9.

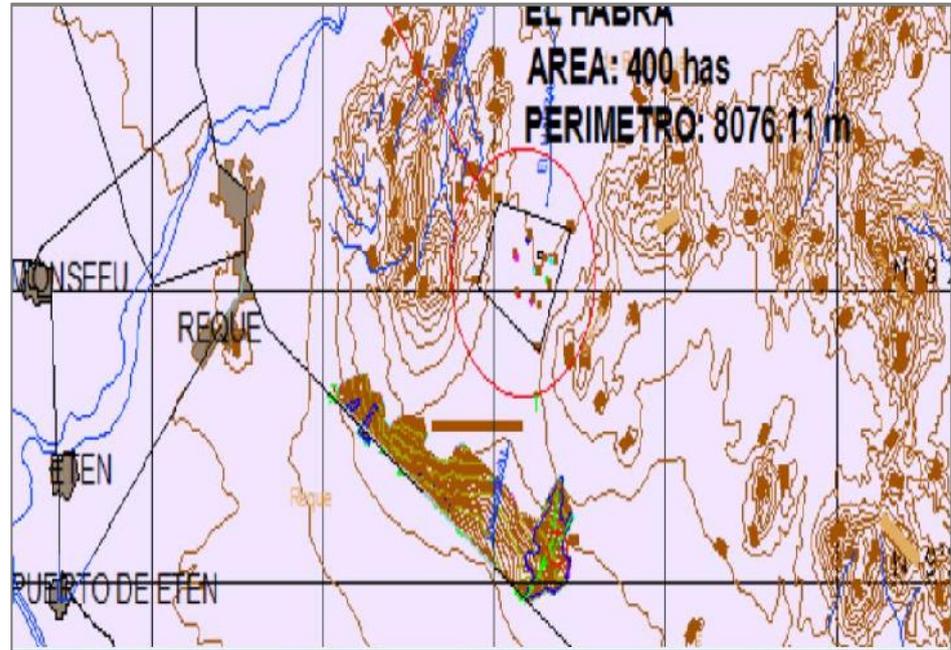


Figura 9 Área de 400 hectáreas destinada al Relleno Sanitario de la provincia de Chiclayo.

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2010.

En mayo del 2016, mediante Resolución Ministerial N 457-2016-DE/SG, se dispuso la transferencia del área, que forma parte de la contrapartida municipal enmarcada en el Convenio Interinstitucional entre los gobiernos de Suiza y Perú y servirá para la construcción del futuro relleno sanitario de uso regional, como parte del proyecto que ambos gobiernos impulsan, denominado: “Mejoramiento y Ampliación de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales del distrito de Chiclayo”, conocido como proyecto Chiclayo Limpio. El área del terreno servirá para construir el relleno sanitario, la fábrica de composta o abono orgánico y la planta de reciclaje (Andina, 7 mayo del 2016).

4.4. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

El diseño del relleno sanitario se basa en la Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado., publicado por Ministerio del Medio Ambiente en el año 2010.

4.4.1. Selección del método

Se va a utilizar el método mixto o combinado, es decir una combinación del método de trinchera y el método del área. Los métodos mixtos o combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio.

El proceso se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con método del área en la parte superior. Figura 10.

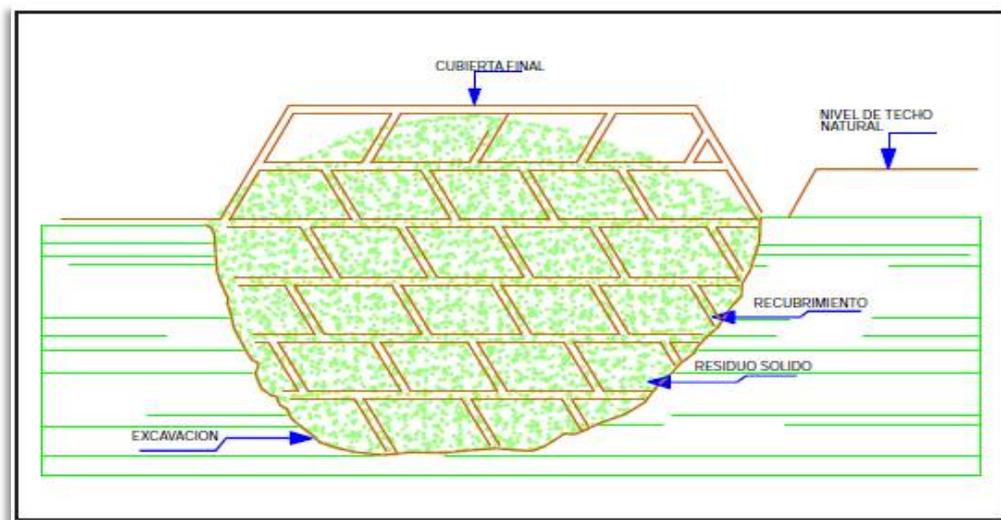


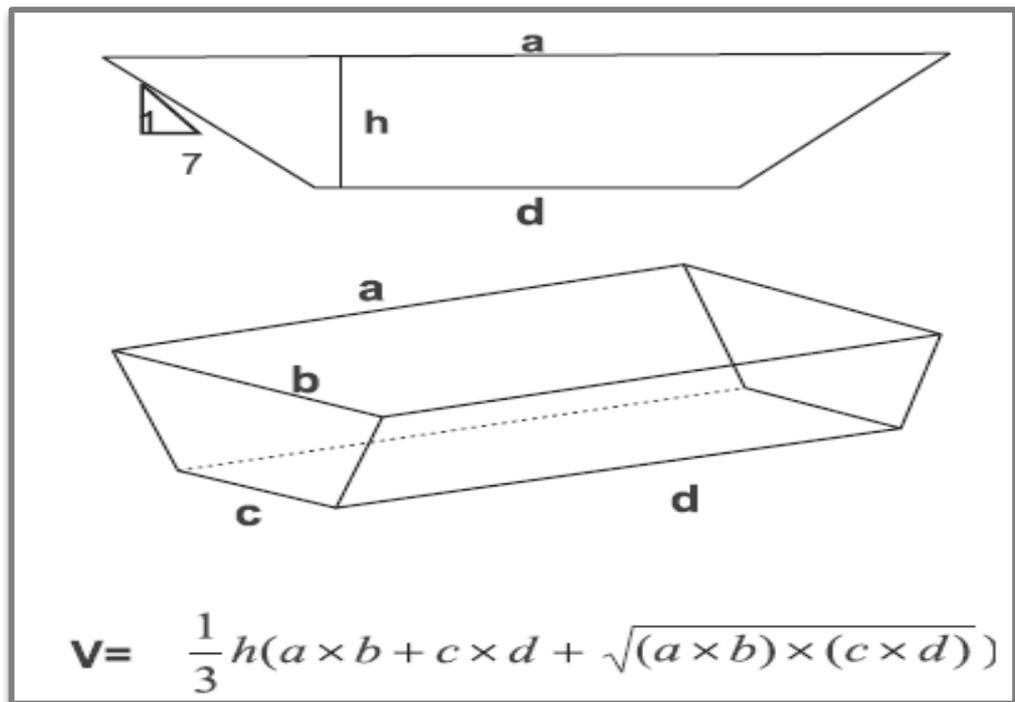
Figura 10. Método mixto o combinado o tipo rampa

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

4.4.2. Capacidad volumétrica de las trincheras y plataformas

Para realizar el cálculo de los volúmenes de almacenamiento y el dimensionamiento de las trincheras y plataforma proyectadas para el relleno sanitario se tomó en consideración la imagen de la Figura 9. En relación con los taludes de residuos sólidos para la conformación de

terraplenes se recomienda un talud de 1/2 ó 1/3 (Jaramillo, 2002). Para el cálculo de los volúmenes de almacenamiento en trincheras y plataformas se empleó la siguiente fórmula:



Según cálculos mostrados en el Apéndice, el volumen por día proyectado para el relleno sanitario de la Provincia de Chiclayo será 480 m³.

Por cálculo iterativo:

- ✓ Largo de la trinchera: 67.57 m
- ✓ Ancho de la trinchera: 7.0 m
- ✓ Profundidad promedio de la trinchera: 2.50 m
- ✓ Talud de las trincheras: H/V: ½
- ✓ Entonces:

$$a = 70$$

$$b = 7.0$$

$$c = 4.5$$

$$d = 65.347$$

$$h = 2.5$$

✓ Volumen:

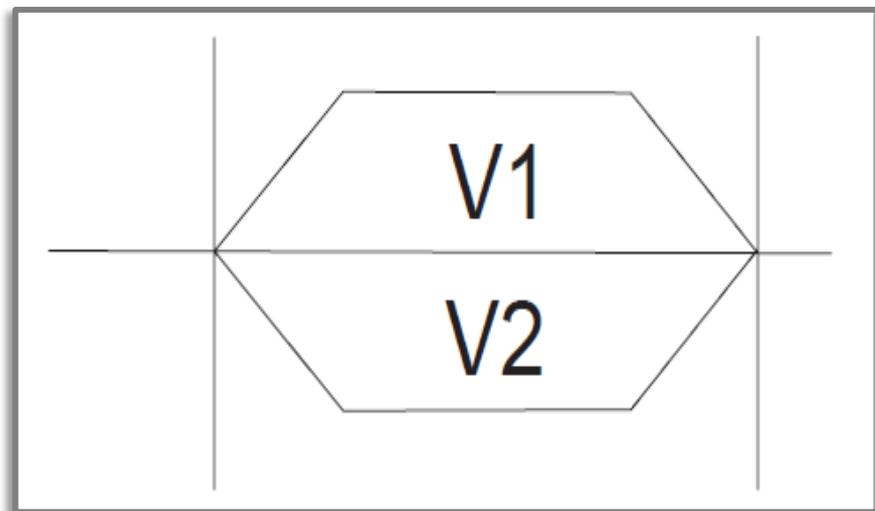
$$\frac{1}{3} h (a * b + c * d + \sqrt{(a * b) * (c * d)})$$

$$\frac{1}{3} (2.5) (70 * 7 + 4.5 * 65.347 + \sqrt{(70 * 7) * (4.5 * 65.347)})$$

$$v = 480 \text{ m}^3$$

➤ **Consideraciones sobre el balance de movimientos de tierras**

Se considera que por la ubicación de la futuro rellenos sanitario se dispondrá de material de cobertura en el área de disposición final. Se considera el siguiente esquema:



- ✓ VT: volumen total ocupado por los RSM = $V1 + V2 = 480 \times 2 = 960 \text{ m}^3$
- ✓ MC : Material de cubierta: 25% de VT = 240 m^3

4.4.3. Cálculo de vida útil

Se llama vida útil de un relleno sanitario al tiempo en años que se utilizará un sitio seleccionado para la disposición final de los residuos sólidos de una comunidad. La vida útil del sitio depende de muchas variables entre las que mencionamos las siguientes: el volumen disponible del mismo, de la cantidad de residuos sólidos a disponer y del método de operación.

➤ **Volumen y área requerida por año en el relleno sanitario**

En la Tabla 8 se resume las consideraciones necesarias para calcular el área requerida por año en el relleno sanitario.

a) Años: Para efectos de recuperación de la inversión necesaria para las etapas de habilitación, construcción operación y cierre se recomienda que dicho período no debe ser menor a 10 años.

b) Población: Es la población correspondiente a cada año proyectado, para nuestro caso se empleó la siguiente fórmula:

➤ **Cálculo de la población futura**

$$Pf = Pa * (1 + tcp \%)^n$$

- ✓ Pa = Población actual (hab.)
- ✓ Pf = Población futura (hab.)
- ✓ Tcp % = Tasa de crecimiento anual poblacional (proporcionada por el INEI)
- ✓ n = Diferencia del número de años

Teniendo en cuenta que se el relleno dará servicio no sólo a la Provincia de Chiclayo sino también a distritos aledaños, como población se toma todo el departamento de Lambayeque. La tasa de crecimiento según INEI para el departamento de Lambayeque es de 0.96% y la población del 2015 alcanza un valor de 1'260,650 habitantes (INEI, 2015), por lo que la población proyectada para el 2017 que iniciaría el proyecto será de 1'284,971, que corresponde al año 0.

- c) Generación per cápita de residuos domiciliarios:** Para iniciar se tomó la GPC del 2013 para ciudades costeras que llegó a 0.56 Kg./hab./día. Se recomienda calcular la generación per cápita total futura para cada año proyectado, con incremento de 0.5 a 1% anual (Jaramillo, 2002).
- d) Generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/día):**
Es el resultado de multiplicar las columnas 2 y 3.
- e) Generación de residuos sólidos domiciliarios (Ton/año):**
Es el peso en toneladas de los residuos generados durante un año (365 días).
- f) Generación de residuos sólidos municipales (Ton/año):**
Se consideró para efectos del presente cálculo un 30% adicional, es decir:

$$\text{RSM} = 1.3 * \text{RSD}$$

- g) Volumen de residuos sólidos municipales (m³/año):** Es el cociente de dividir la columna 6 con la densidad de compactación de los residuos sólidos municipales. Para este caso particular se tomó una densidad de compactación = 0.7 Ton/m³

- h) Volumen de residuos sólidos municipales + material de cobertura ($m^3/año$):** Resultado de la suma de la columna 7 con el material de cobertura utilizado para los residuos sólidos municipales. Para efectos del presente cálculo se considera 25% adicional, según el Manual de Ingeniería de Residuos Sólidos Industriales y Urbanos, España, 1991.

$$\% \text{ Material de cobertura} = 25\% \text{ RSM} *$$

- i) Área total: (volumen de RSM + MC)/H, ($m^2/año$):** Para efectos del presente cálculo se ha considerado:

$$H = 6m$$

- j) Área total + área administrativa ($m^2/año$):** Se considera área administrativa a la infraestructura complementaria del relleno sanitario: Zona de amortiguamiento, vías interiores, patio de maniobras, casetas administrativas, etc. Se recomienda entre 20 a 40% del área total. En el proyecto se considera 30%.

$$\text{Área administrativa} = 30\% \text{ de Área Total} *$$

K) Área acumulada (hectáreas/año)

Resultado de la suma de las áreas parciales de cada año considerado en las proyecciones.

- **Conclusión:** de acuerdo a los cálculos (Ver Tabla 4.1) y considerando que el área total disponible es de 400 hectáreas, la vida útil del proyecto será de 21 años desde el momento de arranque del relleno sanitario. Quedan 8 hectáreas disponibles para la futura planta de reciclaje.

Tabla 9
Tiempo de vida útil del proyecto, con los cálculos de volumen y área requerida por año en el relleno sanitario

columna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Año	Población	Generación Per cápita Kg/hab/día	Generación RSD Ton/día*	Generación RSD Ton/año	Generación RSD Ton/año	Volumen de RSM m ³ /año	Volumen de RSM + MC	Área total (Vol. De RSM + MC)/H m ² /año	Área total +área administrativa m ² /año	Área total acumulada Hectáreas
0	1284971	0.56	468	170721	221938	317054	396317	118895	154564	15
1	1297307	0.57	481	175438	228069	325813	407267	122180	158834	31
2	1309761	0.57	485	177122	230259	328941	411177	123353	160359	47
3	1322335	0.58	499	181960	236548	337925	422407	126722	164739	64
4	1335029	0.58	503	183707	238819	341170	426462	127939	166320	80
5	1347845	0.59	517	188668	245268	350383	437979	131394	170812	98
6	1360785	0.59	522	190479	247623	353747	442184	132655	172452	115
7	1373848	0.60	536	195567	254237	363196	453995	136199	177058	133
8	1387037	0.60	541	197445	256678	366683	458354	137506	178758	150
9	1400353	0.61	555	202663	263461	376373	470467	141140	183482	169
10	1413796	0.61	561	204608	265991	379986	474983	142495	185243	187
11	1427368	0.62	575	209959	272946	389923	487404	146221	190088	206
12	1441071	0.62	581	211974	275567	393667	492083	147625	191913	225
13	1454905	0.63	596	217461	282699	403856	504820	151446	196880	245
14	1468873	0.63	602	219549	285413	407733	509667	152900	198770	265
15	1482974	0.64	617	225175	292727	418182	522727	156818	203864	285
16	1497210	0.64	623	227336	295537	422196	527745	158324	205821	306
17	1511583	0.65	639	233105	303037	432909	541137	162341	211043	327
18	1526095	0.65	645	235343	305946	437065	546332	163900	213069	348
19	1540745	0.66	661	241258	313635	448050	560062	168019	218424	370
20	1555536	0.66	667	243574	316646	452351	565439	169632	220521	392

*Se aplica un factor de 65%, porque se considera que la planta de reciclaje cerca al relleno sanitario o la fomentación de separación de RSM en la fuente logrará llevar al relleno sanitario sólo el 65% de lo que se recoge por día.

MC: material de cobertura; RSD: Residuos sólidos domiciliarios; RSM: residuos sólidos municipales.

4.4.4. Diseño de la celda diaria

4.4.4.1. Celda

Se llama, celda diaria a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (tierra) debidamente compactados mediante un equipo mecánico. Ver Figuras 11, 12 y 13.

Las celdas se diseñan conociendo la cantidad de residuos sólidos recolectados diariamente que llegan al sitio del relleno sanitario seleccionado.

Los elementos de una celda son: su altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas tal como se muestran en las imágenes de las Figuras 11, 12 y 13.

a) Altura de la celda: depende de la cantidad de los residuos que se depositen, del espesor de material de cubierta (tierra), la estabilidad de los taludes, y las especificaciones técnicas de la maquinaria empleada para la compactación de los residuos sólidos. Para una densidad máxima usar capas de 610 mm. de espesor (CATERPILLAR, 1997).

b) El ancho mínimo de la celda o mínimo frente de trabajo: dependerá del número de vehículos recolectores que llegan en la hora pico, es decir, la hora del día en que arriba al relleno al máximo número de vehículos recolectores que depositan los residuos para su disposición final. Se recomienda que el ancho mínimo sea de 2 a 2.5 veces el largo de la cuchilla de la maquinaria.

Este factor de aumento es considerado para facilitar las maniobras de la maquinaria.

El talud de la celda es el plano inclinado en donde se apoyan los residuos y los equipos compactadores. Según Figura 11, se recomienda que las celdas tengan un talud máximo de 1 a 3, es decir, que por cada metro de altura se avancen 3 metros horizontalmente. (SEDUE, 2004)

En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo tal como se ilustra en la imagen de la Figura 12.

En el método de área y combinado pueden existir dos frentes de trabajo.

El material de cubierta, que se ilustra en la Figura 13, es la tierra necesaria que cubre los residuos después de haberlos depositado, esparcido y compactado; este material, evita la proliferación de animales como ratas; insectos; moscas y mosquitos; malos olores al descomponerse los residuos y la dispersión de los residuos fuera del relleno por el viento.

Se recomienda un espesor de 15 a 20 cm. compactados de tierra entre los niveles de celdas (SEDUE, 2004 y el Instituto Tecnológico Geominero de España, 1992) y con cobertura final con material apropiado en un espesor no menor de 0.50m (Reglamento de la Ley 27314).

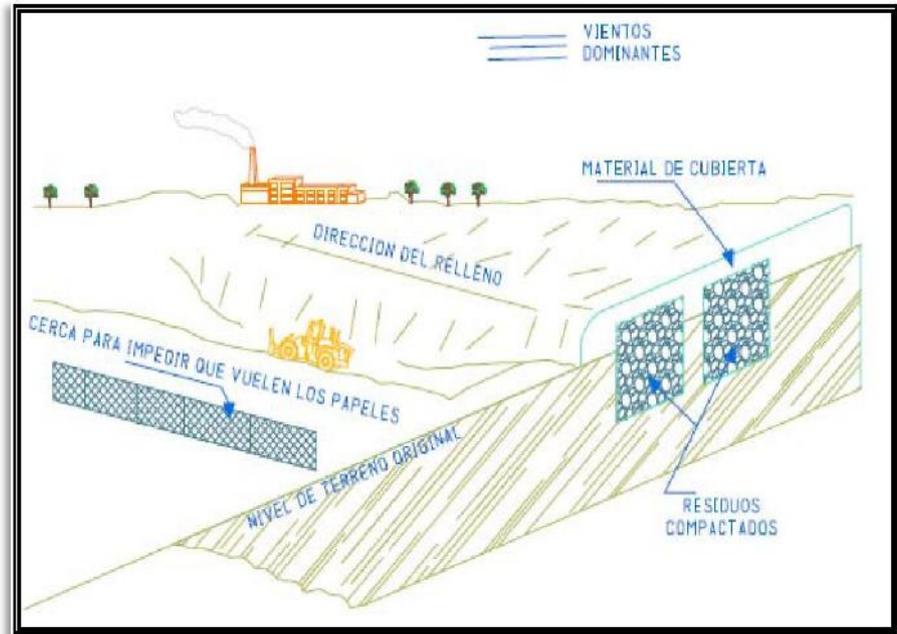


Figura 11. Elementos de una celda.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010

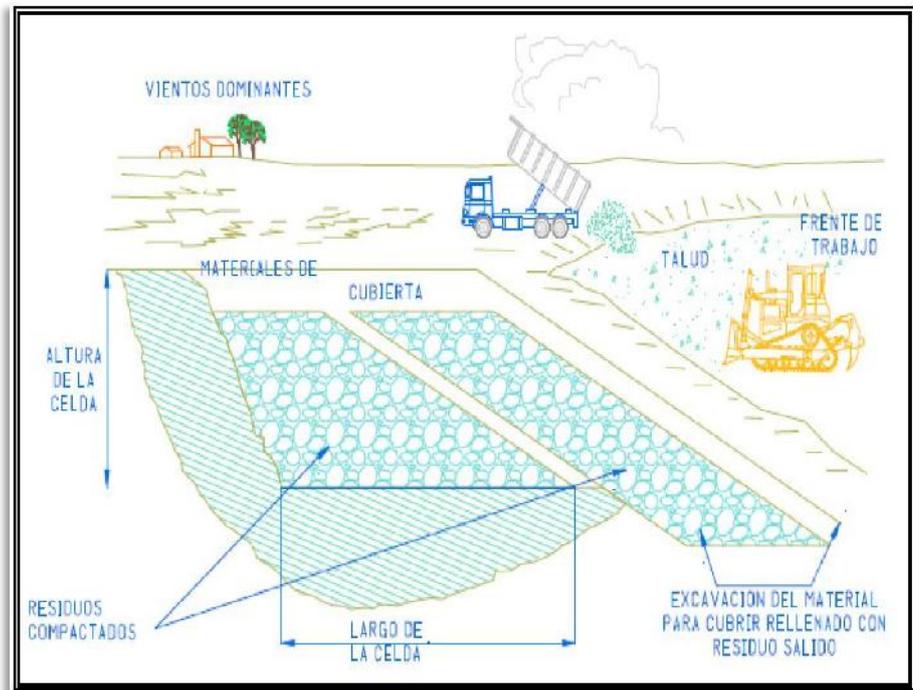


Figura 12. Corte de un relleno sanitario.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

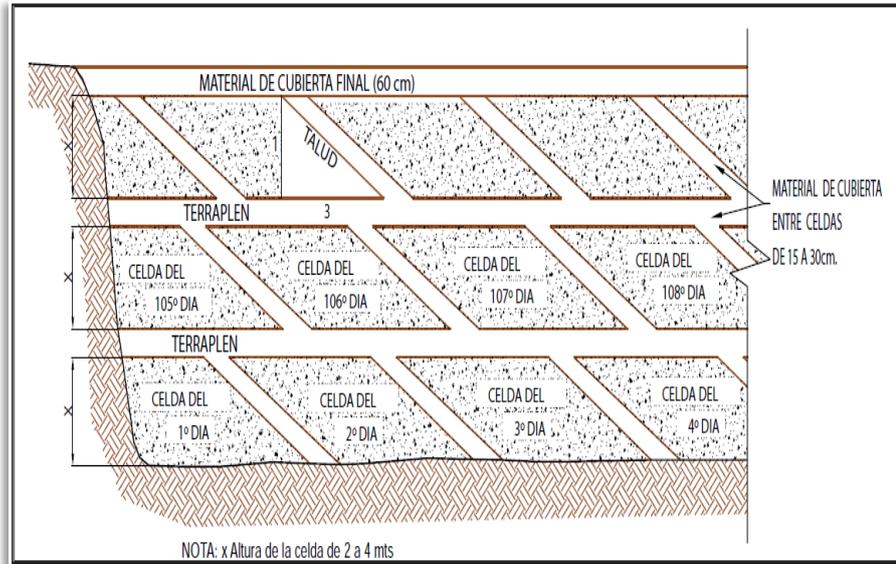


Figura 13. Elementos de una celda
Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

Dimensionamiento del frente de trabajo (ancho de la celda)

Para determinar el frente de trabajo se tomará en consideración el número máximo de vehículos que llegan al mismo tiempo, que para este caso en particular serán 07, una distancia entre vehículos igual a 2 m., un ancho de vehículo 2.5 m y de maquinaria de compactación de 3.0 m; de esta manera se tiene:

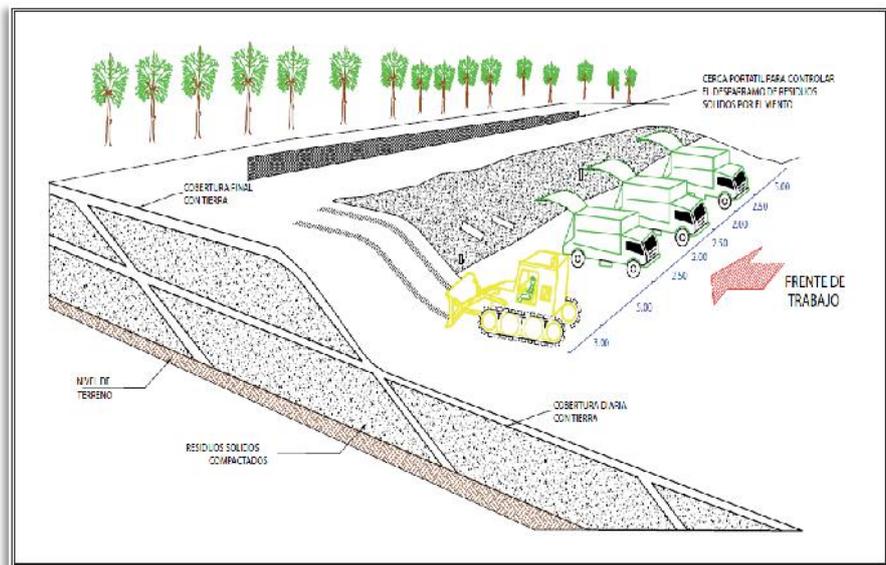


Figura 14. Cálculo del frente de trabajo

Ancho del frente de trabajo: $7 \times 2.5 + 6 \times 2 + 5 \times 2 + 3 = 42.5 \text{ m}$

c) Avance diario

Para estimar el avance diario de la celda se considerará un avance no menor a la Longitud total de la máquina de compactación, que para este caso será de 5 m., el volumen a depositar diariamente será de 1050 m^3 , un talud de celda de $1/3$, y una altura de celda que para nuestro caso será de 0.60 m. (máxima altura para eficiencia de compactación de la maquinaria) de ese modo tenemos:

$$L * 0.60 * 42.5 + (0.60 * 1.8 / 2) * 42.5 = 1050 \text{ m}^3$$

$$L = 40.3 \text{ m}$$

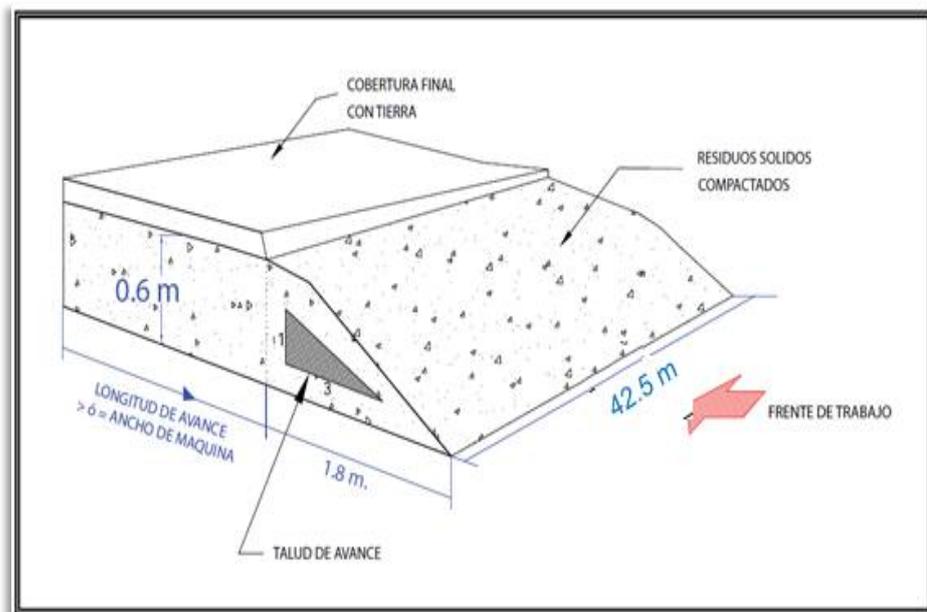


Figura 15. Cálculo del avance diario.

d) Elección de maquinaria:

Para el año se estará recibiendo un total de 246601 ton por año, es decir algo de 675 ton/día, pero se le resta los residuos orgánicos que es 342.20 quedando 333.42 ton por día.

La productividad estimada de un tractor de cadenas, marca CATERPILLAR, modelo D4K, con una potencia de 62.6 kW, tiene una productividad estimada de 31 toneladas de RS/hora. Trabajando 12 horas efectivas por día se tendría una capacidad de 372 toneladas. Se considera 12 horas para la labor de esparcir y compactar el material y 8 horas para acarreo de material de cobertura y la excavación de trincheras.

- Por lo tanto se necesitara: $333.42/372 = 0.89 = 1$ tractor
- Se considera 1 tractor, Caterpillar D4K.

4.4.5. Diseño del sistema del dren de lixiviados**4.4.5.1. Formación de lixiviado**

Los lixiviados de rellenos sanitarios se producen por la disolución de uno o más compuestos de los residuos sólidos urbanos, en contacto con un disolvente líquido (agua) o por la propia dinámica de descomposición de los residuos. Este lixiviado contiene una gran cantidad de sólidos en suspensión y materia orgánica altamente contaminante.

4.4.5.2. Balance hidráulico

La cantidad de lixiviado que podría generarse en un relleno sanitario se puede predecir mediante un balance de agua (hidráulico). El balance hidráulico incluye el recuento de todos los flujos de líquidos que ingresan y egresan del relleno sanitario, y del líquido almacenado dentro del sistema. El mayor componente de la fase líquida en los rellenos sanitarios es, por supuesto, el agua. En la mayoría de los rellenos sanitarios, los flujos más significativos

que ingresan a ellos son la precipitación y el agua obtenida en los residuos sólidos cuando llegan al relleno sanitario; el flujo más importante que egresa del relleno sanitario es el lixiviado. Entonces observaremos los casos en las diferentes regiones.

4.4.5.3. Formación del lixiviado en la costa o zonas desérticas

En ciertas ocasiones especiales, la cantidad de agua producida durante la descomposición de los residuos sólidos y el agua que se pierde como vapor podrían ser significativas en el balance hidráulico. Esas circunstancias podrían incluir el caso de un relleno sanitario ubicado en un desierto. Inicialmente, en un volumen nuevo de residuos sólidos, una porción del agua que ingresa (debido a la percolación en el relleno sanitario) será absorbida por los residuos sólidos.

Sin embargo, a largo plazo, la tasa de lixiviado producida por un relleno sanitario eventualmente es igual a la tasa de filtración de la precipitación (Tome, 2003).

Reque se considera que tiene un clima desértico. La temperatura media anual en Reque se encuentra a 22.1°C y la precipitación es de 22 mm al año.

En base a un relleno sanitario con aporte de agua con precipitación nula, como es el caso de los desiertos peruanos se obtuvo que por una tonelada de residuos sólidos se genera 88.98 kg de lixiviado (Ver cálculos en el Apéndice).

Considerando un 20% adicional por el drenaje de humedad y lluvias, entonces tenemos un cantidad de lixiviados de 106.77 kg por tonelada de residuos sólidos.

Para una producción promedio de 333.42 toneladas por día se tendrá entonces:

$$\text{Lixiviados: } (106.77 \times 333.42)/24 = 1483.3 \text{ kg/hr}$$

4.4.6. Diseño del sistema del monitoreo de lixiviados

La decisión de incluir o excluir un sistema de colección y tratamiento de lixiviado en el diseño de un relleno sanitario en un país en desarrollo es crítica. Es una decisión importante porque si tal sistema se incluye, requerirá un compromiso de fondos adicionales no sólo para su diseño y la construcción, sino también para su operación y mantenimiento. Por otro lado, si no se incluye un sistema de colección y tratamiento de lixiviado, las condiciones podrían ser tales que el lixiviado podría contaminar el suelo, así como las fuentes potenciales de abastecimiento de agua-

Bajo algunas condiciones, los métodos de tratamiento de lixiviado pueden ser relativamente simples y baratos cuando son comparados con los que usan complejos sistemas de revestimiento, tuberías y sistemas para procesar el lixiviado que es captado. Las condiciones incluyen aquellas en las cuales los riesgos para los recursos agua y suelo, y para la seguridad pública, son bajos. La decisión con respecto a la necesidad de controlar y tratar el lixiviado y con respecto al diseño del sistema requerido para realizar el grado de control necesario debe estar basada en información verídica (incluyendo la relacionada con el grado de riesgo) y en la coordinación muy cercana con profesionales experimentados en la materia.

En general, la puesta en marcha de un sistema de colección y tratamiento de lixiviado incluye los siguientes cuatro pasos:

- La identificación y selección del tipo de revestimiento;
- La preparación de un plan de nivelación del sitio, incluyendo la ubicación de los canales y las tuberías para la colección y remoción del lixiviado.
- El diseño de las instalaciones para la colección, la remoción y el almacenamiento de lixiviado.

- La selección y el diseño del sistema de manejo (por ejemplo, tratamiento) de lixiviado.

4.4.6.1. Identificación y selección del revestimiento

Tal como se ha indicado anteriormente, el tipo de revestimiento de la base que se usa en un relleno sanitario depende de varios factores. Algunos de ellos incluyen las condiciones geológicas del lugar de disposición final, los requisitos para la protección ambiental y la disponibilidad y el costo del material de revestimiento. La ubicación y la calidad de las aguas subterráneas así como los requisitos para el control de migración del lixiviado y del gas del relleno sanitario también tendrán una influencia en la selección final.

4.4.6.2. Sistemas de colección de lixiviado

La finalidad central de una instalación para la colección de lixiviado es captar, tan rápido como sea posible, el lixiviado en el relleno sanitario. La cantidad de lixiviado dentro del relleno sanitario debe mantenerse al mínimo porque la presión de agua puede forzar el lixiviado a través de un revestimiento permeable o a través de cualquier imperfección en el revestimiento, y puede afectar de manera negativa la integridad y las propiedades del revestimiento. El tamaño relativo de la instalación para la colección de lixiviado depende de las condiciones climáticas, la topografía del sitio, los procedimientos operativos y la cantidad de lixiviado esperada. La instalación debe hacerse de tal manera que sea compatible con el contorno de la base del relleno sanitario y con el sistema de revestimiento. El diseño debe hacerse de modo tal que el sistema de colección de lixiviado funcione como una unidad eficaz de drenaje y debe prevenirse, en todo momento, la obstrucción de sus componentes.

El sistema de drenaje desempeña una función importante en el funcionamiento del sistema de colección de lixiviado y realiza dos funciones claves:

- Proporciona una ruta para que el lixiviado migre fácilmente y de preferencia hacia las tuberías para la colección.
- Ofrece protección al revestimiento de la base contra los residuos sólidos depositados en la primera franja y contra el equipo pesado.

El material más apropiado para usarse como capa de drenaje es la grava (preferentemente redondeada, libre de raíces, vegetación y escombros de la construcción). También puede usarse arena gruesa o una mezcla de arena y grava, pero la tendencia es usar materiales más permeables. El material debe graduarse cuidadosamente para prevenir la obstrucción de la grava alrededor de las tuberías para la colección. Los sistemas de drenaje de lixiviado pueden incluir más de una capa de filtros. Se puede prevenir la obstrucción entre las capas de los filtros al instalar telas de filtro entre ellas. La eficiencia del sistema de colección de lixiviado depende mucho de la conductividad hidráulica de la capa de drenaje. A medida que la conductividad hidráulica disminuye, la tasa de remoción de lixiviado disminuye y, por lo tanto el líquido se acumula en la base del relleno sanitario.

Hay varios diseños que se pueden usar para la colección y la remoción de lixiviado en un relleno sanitario. Los diseños más comunes en los Estados Unidos consisten de un revestimiento con canales, poco profundos, inclinados y en forma de V; cada uno de los canales tiene una tubería de colección ubicada en el ápice invertido del canal. Los canales y las tuberías están separados por una distancia de 30 y 40 m y con una pendiente de aproximadamente 1% hacia los puntos de captación al borde de la

pendiente. El lixiviado es colectado y bombeado a través de una tubería que penetra de pared lateral. Otros dos sistemas de colección de lixiviado se describen en las siguientes subsecciones.

a) Tuberías en la base del relleno sanitario

El sistema de colección de lixiviado con tuberías en la base del relleno sanitario incluye la colocación de barreras de arcilla (u otro material de revestimiento adecuado) y de tuberías perforadas para la colección de lixiviado en la base del relleno sanitario. Según se muestra en Figura 16, las barreras toman la forma de un rectángulo que tiene un ancho similar a una celda del relleno sanitario. En los países industrializados, se coloca una capa de geomembrana sobre la arcilla, tal como se indica en la Figura 16. Una vez que la barreras están en orden (arcilla y geomembrana), se coloca una serie de tuberías perforadas de colección de lixiviado, directamente sobre la geomembrana. Comúnmente, las tuberías para la colección de lixiviado son perforadas y tienen un **diámetro de 10 cm**. En los Estados Unidos, las perforaciones están cortadas de manera muy precisa (a través de rayos láser), de manera tal que su tamaño es similar al del grano más pequeño de arena (cerca de 0.00025 cm).

El espacio entre las tuberías para la colección de lixiviado es de 10 a 20 m y ellas están cuidadosamente cubiertas con una capa de arena o grava (capa de drenaje). El espacio entre las tuberías determina la profundidad del lixiviado que se permitirá acumular en la base del relleno sanitario. En general, la capa de drenaje tiene 60 cm de espesor y se coloca en las tuberías antes que cualquier residuo sólido sea dispuesto en el sitio. Se puede colocar tela de filtro sobre la capa de drenaje para evitar obstrucciones. Generalmente, la primera capa de residuos sólidos (cerca de 1 m de espesor) colocada sobre la capa de

drenaje no se compacta. La base de relleno sanitario se inclina entre 1% y 2% para promover el flujo del lixiviado hacia los puntos de colección. Las tuberías para la colección de lixiviado deben estar instaladas de manera tal que sean drenadas por gravedad.

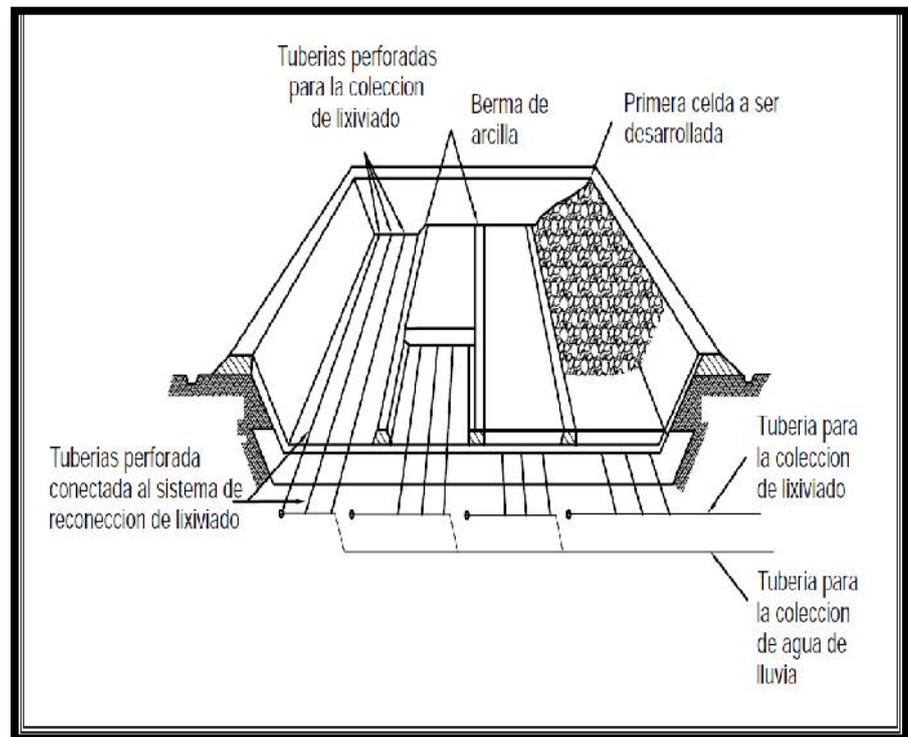


Figura 16. Diagrama del diseño con tuberías en la base del relleno sanitario

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

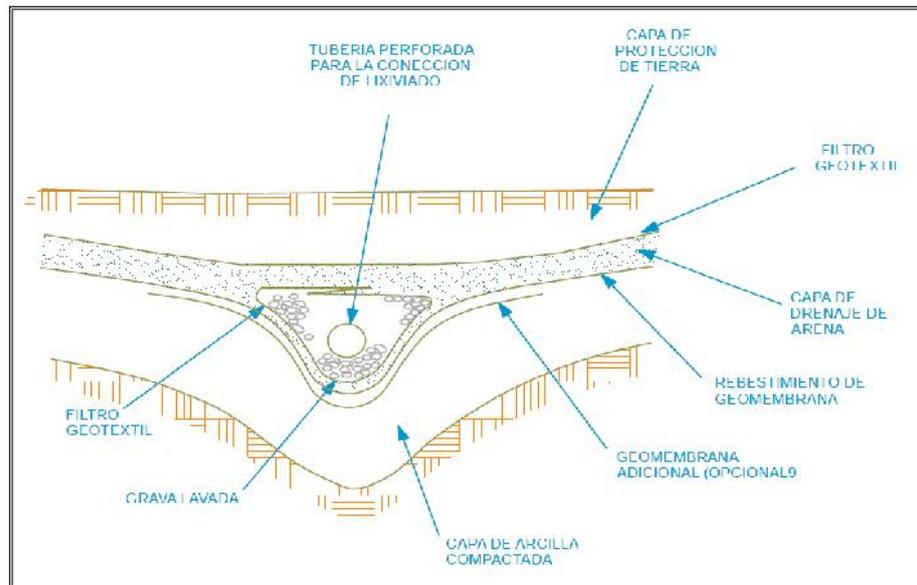


Figura 17. Detalle de una tubería para colección de lixiviados

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

Este método también permite el uso de tuberías para la colección de lixiviado para eliminar el agua proveniente de las lluvias en la porción de relleno sanitario que no recibe residuos sólidos. En esta forma, las tuberías para la colección de lixiviado están conectadas directamente a las tuberías para la colección del agua proveniente de las lluvias. Una vez que la porción del relleno sanitario empieza a funcionar, las tuberías simplemente se desconectan del sistema de aguas pluviales y se unen al sistema de colección de lixiviado.

a) Terrazas en pendiente

En el sistema de terrazas en pendiente, la base del relleno sanitario se inclina en una serie de terrazas (entre 1% y 5%), de manera tal que el lixiviado fluye hacia los canales de colección. Cada canal de colección consta de tuberías para la colección de lixiviado, perforadas y rodeadas de grava lavada (cerca de 4 a 5 cm). Para prevenir la obstrucción de la grava, se puede colocar una capa de protectora de filtro geotextiles. Las tuberías se usan para transportar el lixiviado a un punto de colección para su

remoción o tratamiento. Los canales de drenaje se inclinan 0,5% y 1,0%, la longitud del canal de drenaje depende de la capacidad de las instalaciones de drenaje. En las En la Figuras 4.10 y 4.11 se presenta el diagrama del diseño de las terrazas en pendiente.

4.4.6.3. Remoción y almacenamiento de lixiviado

Hay dos opciones para la remoción de lixiviado de un relleno sanitario. En la primera opción, la tubería de colección pasa a través del costado del relleno sanitario mientras que, en la segunda opción, se usa una tubería de colección inclinada dentro del relleno sanitario para recoger el líquido. En la primera opción, la tubería debe construirse e instalarse con sumo cuidado para asegurar la integridad del sistema de revestimiento del relleno sanitario.

Debe proporcionarse un acceso adecuado a la mayoría de las partes del sistema de colección de lixiviado para permitir la inspección del sistema y el mantenimiento del funcionamiento. El acceso adecuado incluye la instalación de pozos de registros y relimpieza para poder alcanzar cualquier sección de tubería. Debido a las operaciones de disposición final, quizás no sea posible llegar a los registros de limpieza de manera vertical dentro del área del relleno sanitario. En esta situación, los registros de limpieza pueden extenderse lateralmente en la base, hacia el perímetro del relleno sanitario y luego a lo largo del costado de la pendiente hacia la superficie.

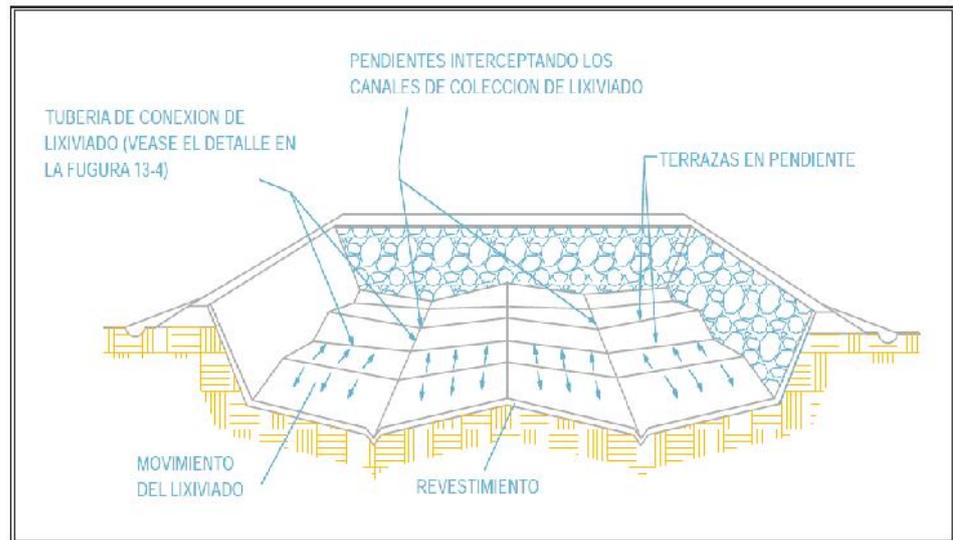


Figura 18. Diagrama del diseño de terrazas en pendiente

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

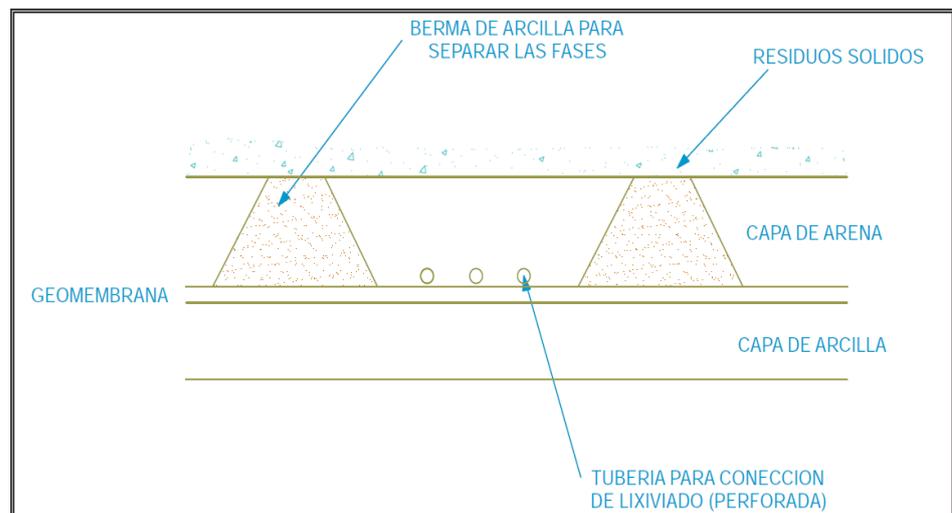


Figura 19. Detalle de una tubería para colección de lixiviado

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2010.

El lixiviado que se recoge se almacena en una bóveda, tanque o estanque; se drena o se bombea directamente a las instalaciones para su tratamiento. Los requisitos de almacenamiento dependen del tamaño del relleno sanitario, de la cantidad de lixiviado generado y del tratamiento final o de la opción de disposición final para el lixiviado.

Los tanques de retención están diseñados para almacenar el lixiviado de entre 1 a 3 días durante el pico de producción máxima. Se usan tanto tanques de metal como de plástico para este fin, aunque los tanque de plástico son más resistentes a la corrosión que los de metal no tratado.

4.4.6.4. Alternativas de manejo de lixiviados

El método para manejar el lixiviado de un relleno sanitario determinará el riesgo asociado con la contaminación de acuíferos subterráneos. Hay varias alternativas para manejar el lixiviado.

Algunas de las alternativas son:

- La descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio.
- La evaporación (natural o inducida).
- La recirculación o el reciclaje.
- El tratamiento en el terreno.

a) Descarga a un sistema de tratamiento de aguas residuales fuera del sitio

En caso que el relleno sanitario esté ubicado relativamente cerca de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales, puede ser posible descargar el lixiviado para su tratamiento en esa planta. Antes de intentarlo, sin embargo, es importante evaluar si la planta de tratamiento sería capaz de tratar la cantidad y la calidad del lixiviado; por ejemplo, la carga orgánica adicional. En algunos casos puede ser necesario establecer un tipo de pre tratamiento para el lixiviado antes de descargarlo en la alcantarilla. Si no está disponible una alcantarilla local a una distancia conveniente del punto de descarga en el relleno sanitario, la utilización de un camión cisterna es una alternativa para transportar el lixiviado a la planta de tratamiento de aguas residuales.

b) Evaporación

Esta es una de las alternativas más sencillas para el manejo de lixiviado. En esta alternativa, el lixiviado se almacena en un estanque o laguna de evaporación. (En circunstancias ideales, el estanque se revestiría adecuadamente con material o membrana impermeable). La tasa de evaporación, desde luego, depende las condiciones climáticas. En caso que hubiera una época de lluvias intensas, el estanque debe estar diseñado para retener el volumen asociado de líquido o, si la práctica lo permite, puede estar cubierto con una membrana impermeable. La tasa de evaporación puede aumentarse al rociar el lixiviado sobre la superficie del relleno sanitario en funcionamiento y sobre las áreas terminadas. Aunque el rociado aumenta la tasa de evaporación, el proceso puede generar olores, así como aerosoles que pueden contener bacterias.

La evaporación también puede aumentarse al calentar el lixiviado a través de un intercambiador de calor. En caso que haya un sistema para la colección del gas del relleno sanitario, puede usarse el gas como fuente de energía para el proceso de evaporación. De otro modo, debe buscarse otra fuente de energía. Esta opción puede ser costosa en un país en desarrollo sin reservas de combustibles fósiles. Además, se debe tener mucho cuidado con el control de las potenciales emisiones de compuestos volátiles así como con el manejo de la corrosión y la contaminación de las superficies de transferencia de calor.

c) Recirculación o reciclaje

El lixiviado puede administrarse eficazmente colectándolo y recirculándolo a través del relleno sanitario. Cuando el relleno sanitario empieza a funcionar, es común que el lixiviado contenga concentraciones relativamente altas de DBO, DQO, sólidos disueltos totales, metales pesados y nutrientes. La

recirculación y el reciclaje del lixiviado atenúan estos constituyentes debido a la actividad biológica y a las reacciones físicas y químicas que se producen dentro del relleno sanitario. Por ejemplo, considerando que el pH en el relleno sanitario se torna neutral o ligeramente básico a medida que se produce metano, algunos de los metales se precipitarán y serán retenidos dentro del relleno sanitario.

El diseño y la operación de un sistema de recirculación de lixiviado debe considerar que, si es que la percolación hacia el interior del relleno sanitario es mayor que la evaporación del lixiviado colectado, la recirculación resulta en un constante aumento del reservorio del lixiviado.

En caso que la rápida estabilización de la sustancia orgánica, así como la recolección y el uso beneficioso del gas del relleno sanitario sean los objetivos principales de la operación, la recirculación del lixiviado puede ocasionar un aumento en la producción de gas debido al incremento del contenido de humedad en el relleno sanitario. Un aumento en la tasa de estabilización conduciría a una mayor tasa de sentamiento del relleno sanitario. Se puede obtener una reducción considerable de DQO y DBO a través de la recirculación, en particular, durante un período corto. La recirculación de lixiviado es más eficaz en los rellenos sanitarios cuyo funcionamiento incluye la aplicación de residuos sólidos en capas relativamente delgadas.

Se debe prestar atención cuando se adopta la recirculación como una estrategia para manejar el lixiviado. En primer lugar, la introducción de humedad en el relleno sanitario puede conducir a la contaminación del ambiente circundante al relleno sanitario por causa de la migración lixiviado por la base o por los costados del mismo. En segundo lugar, la recirculación continua producirá la acumulación de sales, metales y otros compuestos indeseables en el lixiviado. Además en caso que se hayan

aplicado coberturas intermedias, la introducción de lixiviado puede formar acumulaciones de líquido dentro del relleno sanitario que, con el tiempo, pueden escapar por los costados del relleno sanitario.

La recirculación el lixiviado, incluyendo el tratamiento del mismo, se está realizando de manera activa en ciertas zonas del Brasil.

d) Tratamiento

Si ninguna de las alternativas presentadas en los párrafos anteriores es viable, será necesario algún tipo de tratamiento para manejar adecuadamente el lixiviado. Ya que la composición de los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario puede variar mucho de municipio, el lixiviado producido en los rellenos sanitarios también puede tener características muy distintas. A diferencia de las aguas residuales, la calidad y la cantidad del lixiviado pueden experimentar variaciones importantes con los cambios del clima. Además, a medida que el contenido del relleno sanitario se deteriora con el transcurso del tiempo, la calidad del lixiviado también cambia.

Han sido usados varios tipos de diseños para tratar el lixiviado. Algunos de los procesos aplicados incluyen los biológicos, físicos y químicos. Un diseño típico incluiría tres etapas de tratamiento:

- Pretratamiento,
- Tratamiento biológico y
- Tratamiento físico y químico.

En general, el pretratamiento incluye el tamizado, la sedimentación y el ajuste de pH. El tratamiento biológico está diseñado para eliminar principalmente la DBO, la DQO y algunos de los nutrientes. Los métodos más comunes de tratamiento biológico incluyen: las lagunas de oxidación, las lagunas aireadas, los lodos activados y otros. La etapa final puede incluir

una serie de procesos diseñados principalmente para eliminar el color, los sólidos en suspensión, los metales pesados y cualquier DQO restante. Los procesos que pueden usarse en esta etapa incluyen, entre otros, la sedimentación, la oxidación con ozono, la filtración con arena y la floculación. Los textos sobre tratamiento de aguas residuales incluyen información específica sobre el diseño y la operación de estos sistemas.

Un sistema complejo de tratamiento de lixiviado que usa el ajuste de pH, seguido de floculación, sedimentación, tratamiento biológico del sobrenadante a través de una laguna aireada y cloración, se está usando en uno de los sitios de disposición final de Buenos Aires, Argentina.

Los sistemas simples de tratamiento de lixiviado (que, por lo tanto, están dentro del alcance de varios lugares) podrían ser la única alternativa factible para algunas localidades. Con respecto a los sistemas simples, el almacenamiento y la evaporación constituyen la selección más adecuada. En lugares donde los sistemas de evaporación no son factibles, un sistema simple de tratamiento biológico podría ser una alternativa razonable para el tratamiento de lixiviado, especialmente si los residuos sólidos son predominantemente de origen doméstico, putrescibles y con un alto contenido de celulosa. En tales situaciones, los sistemas aerobios o anaerobios podrían constituir formas adecuadas de tratamiento. Los sistemas simples de aireación (por ejemplo, lagunas con aireación, lagunas de oxidación, etc.) con residencia hidráulica de entre 30 y 60 días, podrían funcionar bien, dependiendo principalmente del DBO del lixiviado.

4.5. DISEÑO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS

4.5.1. Diseño del sistema de generación de biogás a partir de los residuos sólidos orgánicos

Para la generación de biogás se optó por el proceso de biodigestión, para tal caso se diseñó una batería de biodigestores, en este caso del tipo Domo Fijo o Modelo Chino.

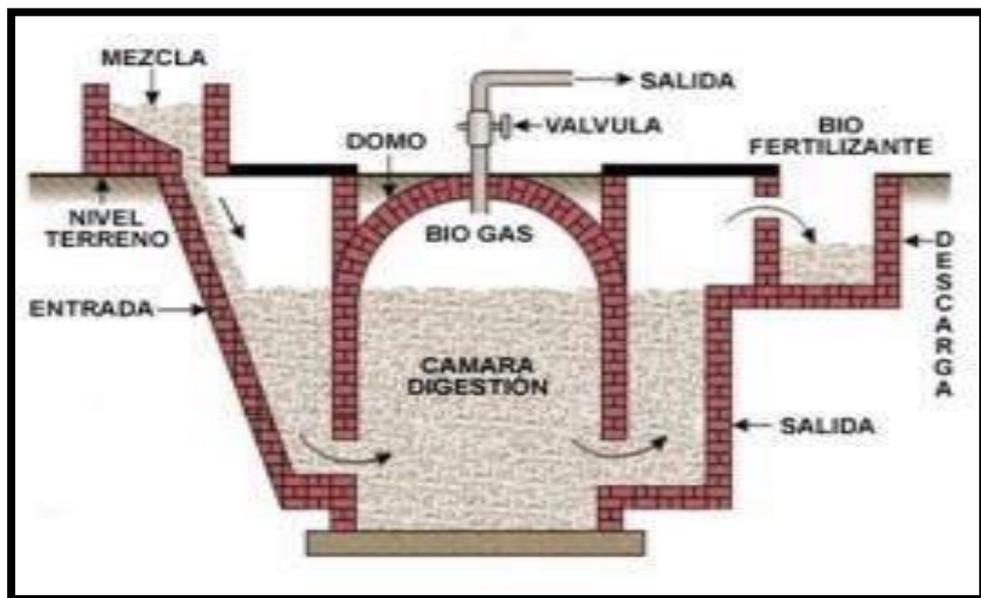


Figura 20. Biodigestor Domo Fijo o Modelo Chino

4.5.2. Volumen de biomasa disponible

Según lo indicado en el estudio de mercado para el año 2022, la generación de residuos sólidos orgánicos que producirá la población de Chiclayo alcanzará 342,20 toneladas/día, cuales pasarán a los biodigestores para su descomposición y la producción de biogás, es necesario, acelerar el proceso de descomposición, agregando agua en relación 1:1, por lo tanto, la biomasa disponible estará dada por:

Los residuos sólidos es 1,42 veces tan pesada como el agua. Por lo tanto, para determinar el volumen de biomasa se empleará la *Ecuación 1* (Guevara, 1995).

$$V_{biomasa} = \frac{C_{RSO}}{\rho_{RSO}} * 2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$V_{biomasa}$: Volumen de biomasa disponible (m^3)

C_{cRSO} : Cantidad de residuos sólidos orgánicos disponible ($kg/día$)

ρ_{RSO} : Densidad de los RSO (kg/m^3) 191.58 kg/m^3

ρ_{agua} : Densidad del agua (kg/m^3)

$$V_{biomasa} = \frac{342,20 * 1000 \frac{kg}{día}}{191.58 \frac{kg}{m^3}} * 2$$

$$V_{biomasa} = 3572,40 \frac{m^3}{día}$$

Es importante mencionar que actualmente existen plantas de biogás que utilizan mezclas de enzimas, probióticos y micro elementos como aditivos para el aumento de producción de biogás, logrando resultados considerables a un bajo costo.

4.5.3. Volumen de biomasa en el biodigestor

Fue indispensable calcular un tiempo de retención de la biomasa para la producción de biogás, el cual está determinado por el tiempo de retención ideal afectado por un factor de corrección (Ver Ecuación 2), acorde a la temperatura promedio de la zona, que en este caso es 25°C.

El factor de corrección se obtuvo de la Figura 21.

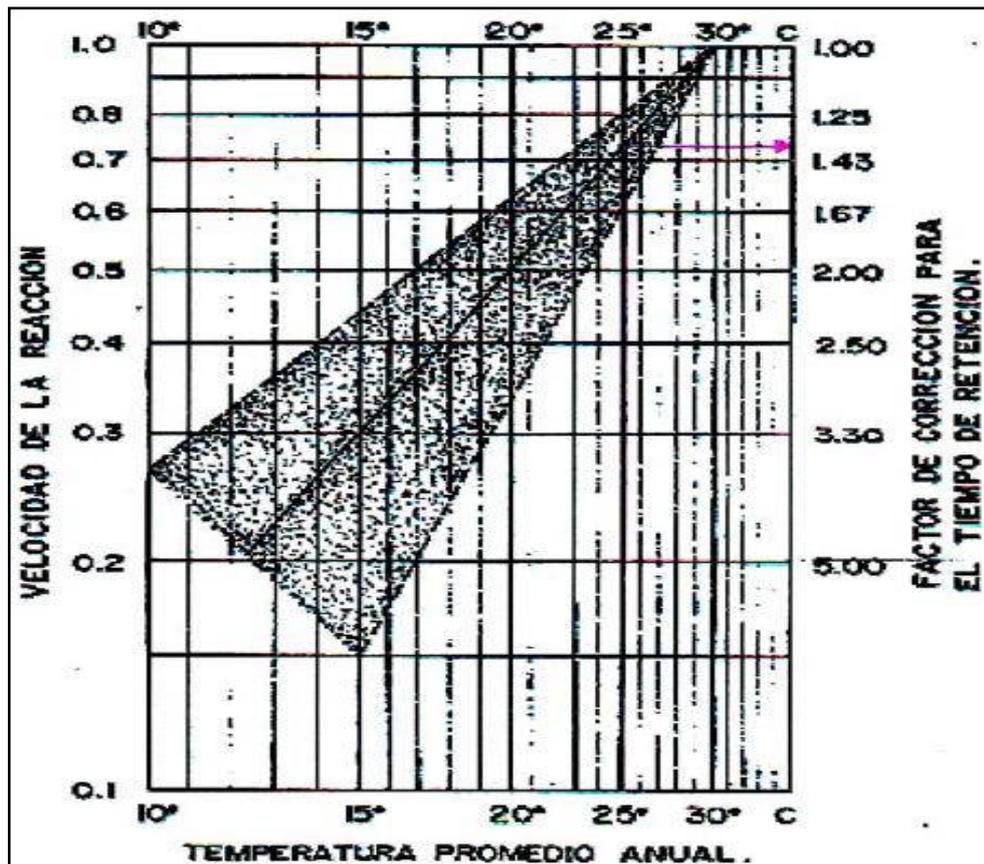


Figura 21: Lectura de factor de corrección.

Fuente: Olaya y González, 2009

El tiempo de retención ideal estuvo dado por la Tabla 10:

Tabla 10**Variación de tiempo de retención en algunas regiones.**

Tipo de Clima	Temperatura (°C)	THR (días)
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Fuente: Monar, 2009

Para tal caso como la ciudad de Lambayeque se considera un clima trópico, entonces el tiempo de retención ideal es de 20 días.

Aplicando el factor de corrección se calcula el Tiempo de retención real:

$$T_{retención} = T_{ideal} \times F_{corrección} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$T_{retención}$: Tiempo de retención (días)

T_{ideal} : Tiempo de retención ideal (días)

$F_{corrección}$: Factor de corrección

Entonces, al observar la figura anterior, a una temperatura de 25°C le corresponde un factor de corrección de 1,40 para el tiempo de retención.

$$T_{retención} = 20 \text{ días} \times 1,40$$

$$T_{retención} = 28 \text{ días}$$

Dado que la biomasa disponible que se introducirá en el biodigestor a diario deberá permanecer dentro de él en un determinado tiempo de retención, esta se irá acumulando dentro del biodigestor a lo largo de este tiempo de retención (Olaya y González, 2009).

Una vez cumplido el tiempo, al seguir introduciendo nueva mezcla en el biodigestor, la biomasa ya digerida deberá salir por la cámara de

compensación al depósito de descarga, y así el volumen de biomasa dentro de la cámara de digestión permanecerá constante. Este volumen de biomasa dentro del biodigestor se calcula con la *Ecuación 3*.

$$V_{biodigestor} = V_{biomasa} \times T_{retención} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$V_{biodigestor}$: Volumen de biomasa en el biodigestor (m^3)

$V_{biomasa}$: Volumen de biomasa disponible (m^3)

$T_{retención}$: Tiempo de retención (días)

$$V_{biodigestor} = 3\,572,40 \frac{m^3}{día} \times 28 \text{ días}$$

$$V_{biodigestor} = 100\,027,2 \text{ m}^3$$

4.5.4. Volumen de biogás generado

Se procede al cálculo del volumen de biogás que produce la cantidad de biomasa disponible, a lo largo del tiempo de retención especificado, que se obtiene a partir de la *Ecuación 4*. Este valor será el volumen de biogás que se producirá en el biodigestor cada día.

$$V_{biogás} = C_{biomasa} \times R_{biogás} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$V_{biogás}$: Volumen de biogás (m^3)

$C_{biomasa}$: Cantidad de biomasa disponible ($kg/día$)

$R_{biogás}$: Rendimiento de biogás (m^3/kg)

$$V_{biogás} = 342\,200 \frac{kg}{día} \times 0,047 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{biogás} = 16\,083,4 \text{ m}^3$$

4.5.5. Volumen total del biodigestor

El volumen interno del biodigestor ha de albergar tanto el volumen de la mezcla líquida en proceso de fermentación anaeróbica como el del biogás que se produzca a diario a consecuencia de dicha fermentación. Por tanto, el volumen interno del biodigestor es la suma de ambos volúmenes expresado en la *Ecuación 5*.

$$V_{total} = V_{biodigestor} + V_{biogás} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

V_{total} : Volumen total del biodigestor (m^3)

$V_{biodigestor}$: Volumen de biomasa en el biodigestor (m^3)

$V_{biogás}$: Volumen de biogás (m^3)

$$V_{total} = 100\,027.2\,m^3 + 16\,083.4\,m^3$$

$$V_{total} = 116\,110.6\,m^3$$

$$V_{total} \approx 116\,111\,m^3$$

4.5.5.1. Partes del biodigestor modelo Chino

En la Figura 22 se observa una información detallada de cada una de las partes del biodigestor de cúpula fija o modelo Chino.

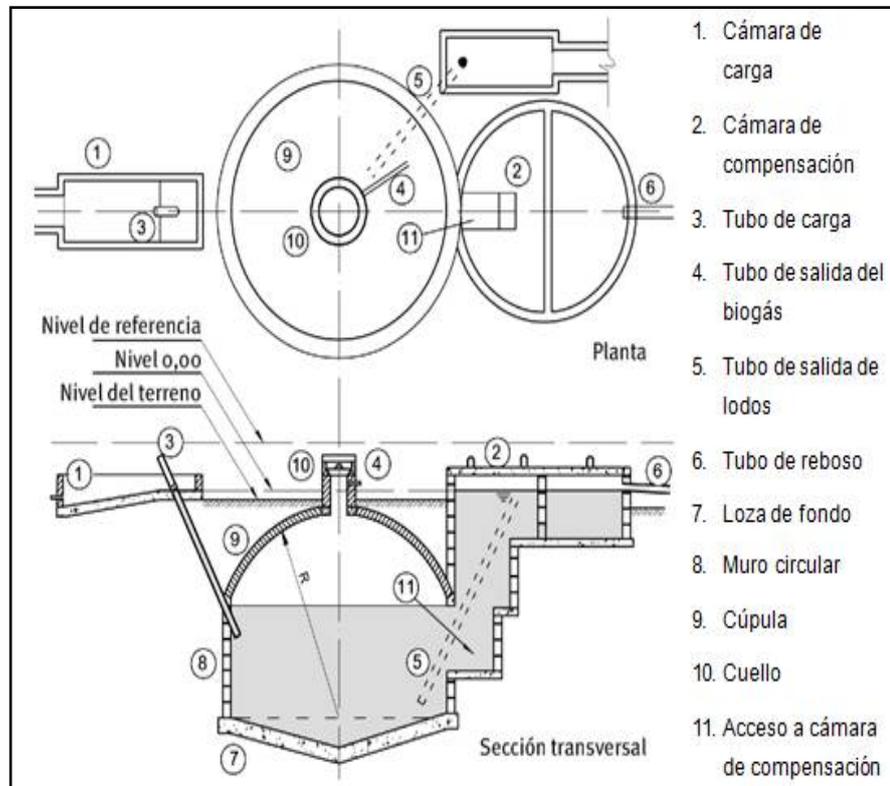


Figura 22: Partes del Biodigestor de cúpula fija o modelo Chino.
Fuente: Guardado, 2007

4.5.5.2. Dimensionamiento del sistema de generación de biogás

a) Cámara de digestión

La parte principal del biodigestor, que marcó el dimensionamiento del resto de partes, fue la cámara de digestión. Las fórmulas que se emplearon para el dimensionamiento de la cámara de digestión del biodigestor de cúpula fija o modelo Chino se exponen en la *Figura 22*. Para facilitar el cálculo en esta investigación, se dividió el volumen de la cámara de digestión en tres partes: un segmento esférico, un cilindro y un cono.

Los pasos que se siguieron para el empleo de las fórmulas descritas en la *Figura 23* son los siguientes:

- Se calculó el volumen total (V_{tot}).
- Se calculó el radio básico del volumen predefinido (R).
- Se calculó la unidad básica, en metros ($U = R/4$).
- Se determinó las proporciones (R_c, D, h_c, h_p, h_t).

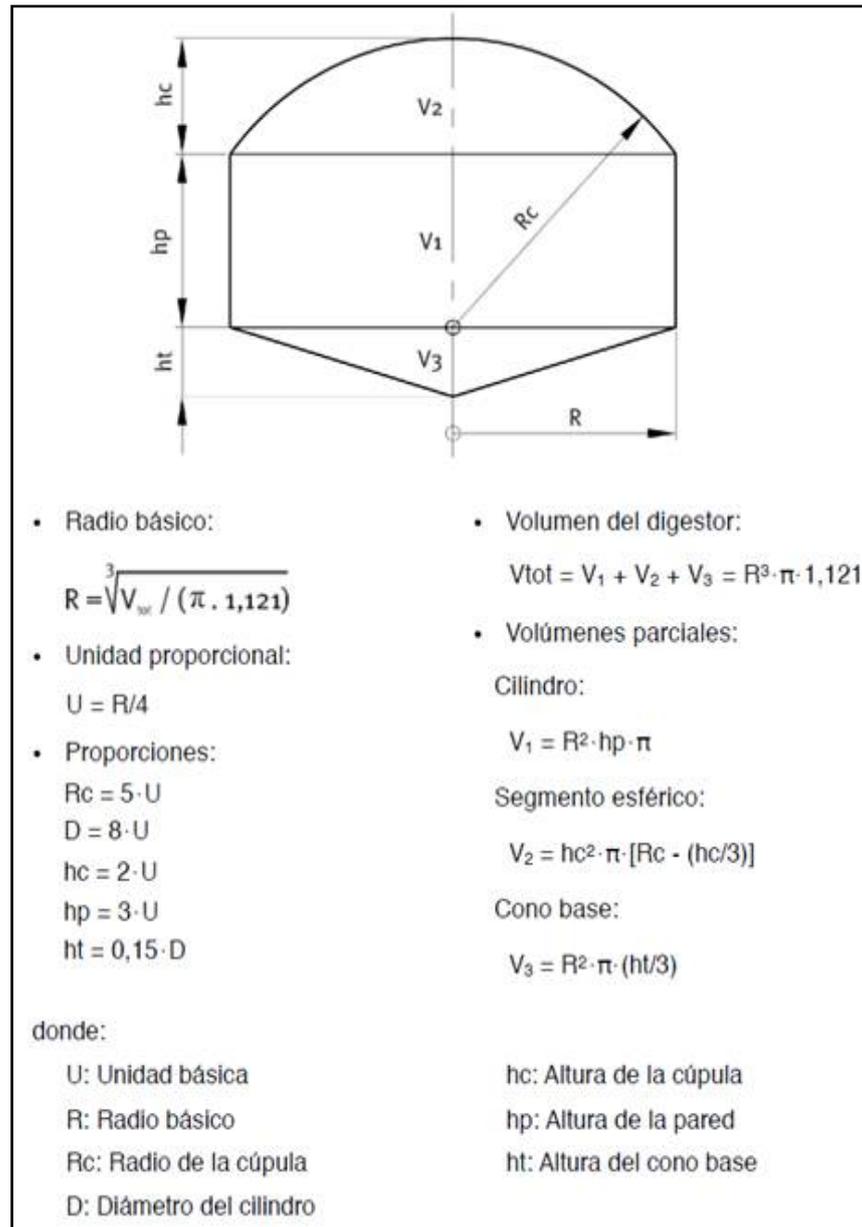


Figura 23: Fórmulas para el dimensionamiento de la cámara.

Fuente: Guardado, 2007

b) Cantidad de biodigestores

De acuerdo al volumen de biomasa y de biogás obtenido es posible que al diseñar el sistema de generación con un solo biodigestor las dimensiones de este sean excesivas, ocupando gran espacio y que los procedimientos para su construcción y operación se compliquen notablemente, siendo necesario contar con varios digestores en paralelo, con las mismas dimensiones.

En la *Tabla 11* se muestran las dimensiones que se obtienen para cada biodigestor empleando las fórmulas de la *Figura 23*, según el número de biodigestores elegidos, sabiendo que el volumen total de digestión debe ser de 116 111 m³.

Cabe indicar que el volumen es muy grande por lo que se ha optado tomar el 20% de los residuos orgánicos.

Por lo tanto, la masa a biodigestor estuvo dado por:

$$\text{Volumen total del biodigestor} = 0.2 * 116\ 111\ m^3$$

$$\text{Volumen total del biodigestor} = 23\ 222.2\ m^3$$

Tabla 11
Dimensiones de cada biodigestor según el número de biodigestores en paralelo.

Número de biodigestores	Volumen de biodigestor (m ³)	Radio del biodigestor (m)	Unidad básica (m)	Altura del biodigestor (m)
35	680	5,78	1,44	8,96

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al análisis se concluyó que el número de biodigestores del sistema de generación de biogás deberá estar formado por 35 biodigestores en paralelo de 680 m³ cada uno.

A continuación se observa en la *Tabla 12* las dimensiones de un biodigestor de 680 m.

Tabla 12
Dimensiones del biodigestor.

Dimensiones	Símbolo	Valor (m)
Radio básico	R	5,78
Unidad básica	U	1,45
Radio de la cúpula	R _c	7.25
Diámetro del cilindro	D	11,60
Altura de la cúpula	h _c	2,90
Altura de la pared	h _p	4,35
Altura del cono base	h _t	1,74

Fuente: Elaboración Propia

c) Tanque de compensación

El tanque de compensación tiene forma cilíndrica y un volumen equivalente al volumen de gas contenido en la cúpula esférica de la cámara de digestión (V_2), ya que el volumen de mezcla que pasa al tanque es el que desaloja el biogás al formarse, el cual se acumula en la cúpula esférica de la cámara de digestión. Para ello se emplea la *Ecuación 6*, extraída de la *Figura 23*.

$$V_2 = h_c^2 \times \pi \times \left[R_c - \frac{h_c}{3} \right] \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$V_{tc} = (2,90m)^2 \cdot \pi \cdot \left[7,25m - \frac{2,90m}{3} \right]$$

$$V_{tc} = 166 \text{ m}^3$$

El radio del tanque de compensación se toma igual al de la cámara de digestión (R). La altura se calcula mediante la *Ecuación 16* extraída de la *Figura 23*, sustituyendo el volumen

de la cúpula esférica calculado en la *Ecuación 7* y añadiendo un margen de seguridad de 50 cm de altura.

$$h = \frac{V_{tc}}{\pi \cdot R^2} + 0,5 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

h: Altura del tanque de compensación (m)

V_{tc}: Volumen del tanque de compensación (m³)

R: Radio de la cámara de digestión (m)

$$h = \frac{166 \text{ m}^3}{\pi \cdot (5,78\text{m})^2} + 0,5\text{m}$$

$$h = 2,10 \text{ m}$$

d) Cuello del Biodigestor

El cuello del biodigestor tiene como función permitir el acceso o visión al interior del biodigestor, a la vez que en él se coloca la tubería que recoge el biogás acumulado en el interior de la cúpula. Conecta, por tanto, la cámara de digestión que se encuentra bajo tierra con la superficie.

Se apoya en la parte superior de la cúpula, y está constituido por un muro cilíndrico y una tapa que proporciona un cierre hermético. De la parte alta del muro cilíndrico sale el tubo de extracción de biogás, que lo conduce hasta los sistemas de aprovechamiento.

Es importante destacar que sobre el cuello se sitúa una tapa de cierre, que debe garantizar una hermeticidad perfecta, a fin de que no ocurra escape del biogás acumulado en el interior. Para lograr esto existen diferentes métodos, pero el más comúnmente utilizado consiste en la colocación de la tapa

sobre un sello de mortero fresco y posteriormente el recubrimiento de ésta con una capa de arcilla plástica bien amasado, de 3 a 10 cm de espesor (en los extremos)

Dado que el cuello debe permitir el acceso al interior del biodigestor, se considera que el diámetro mínimo suficiente para que una persona pueda pasar por la abertura sin problemas es de 0,5 m. En este caso, dado el tamaño del digestor, el diámetro de la abertura será de 1,0 m (Ver Figura 24).

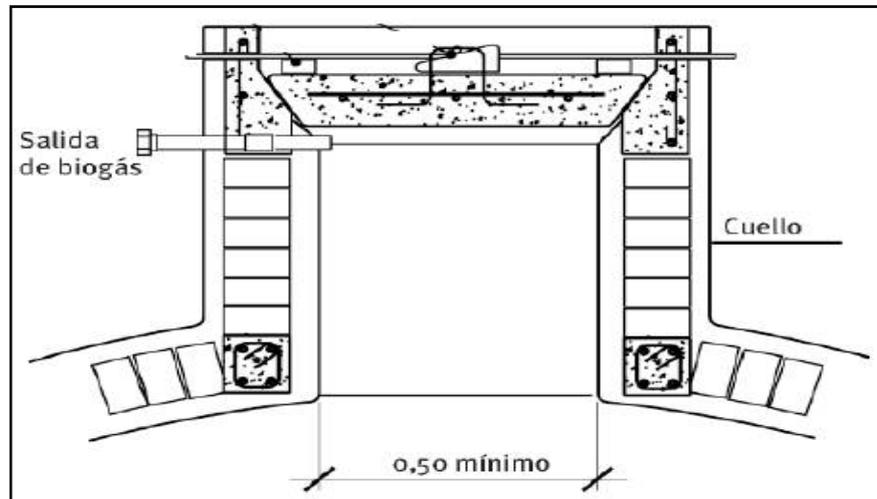


Figura 24: Cuello del biodigestor modelo chino.

Fuente: Guardado, 2007

e) Cámara de carga

Para determinar las dimensiones de la cámara de carga se siguió la metodología empleada por (Hernández, 2014) en su investigación *“Diseño de un sistema para el aprovechamiento energético de biogás a partir de los residuos generados por el ganado vacuno en la Vaquería 101 perteneciente a la empresa pecuaria Camilo Cienfuegos (Pinar del Río, Cuba)”*.

La cámara de carga está formada por dos partes principales:

- **Tanque de mezcla**, se realiza la mezcla cascarilla y agua que se introducirá al biodigestor diariamente.

- **Desarenador**, tiene la función de evitar que materiales inertes (piedras, palos, etc.) que pueda arrastrar el sustrato entren al biodigestor.

El tanque de mezcla, en cualquier tipo de planta con alimentación semicontinua debe tener un volumen interno un poco mayor que el volumen de carga diario, entre 10 - 20%. Dicho volumen de carga diario será el volumen de biomasa disponible.

Se debe construir el suelo del desarenador con una pequeña inclinación hacia el lado opuesto del tubo de carga, por donde los materiales inertes puedan bajar hasta el fondo por gravedad. En el fondo es conveniente dejar una abertura para evacuar estos materiales.

Por lo general, el tubo que comunica el desarenador con el biodigestor es de PVC y tiene un diámetro que varía entre 10 y 15 cm, en dependencia del tamaño de la planta. El extremo que penetra en el biodigestor debe estar a una cierta altura del fondo, para evitar que el material sedimentado lo obstruya. Si el tamaño de la planta lo justifica, pueden emplearse dos tubos de carga.

Como en este tanque es donde se efectúa la mezcla de cascarilla de arroz con agua, se requiere colocar un sistema para tapar el tubo de descarga (que conecta la cámara de carga con el desarenador) y el de evacuación de sedimentos mientras se esté realizando la mezcla.

Al tener 4 biodigestores en el sistema de generación de biogás, se optó por tener 2 cámaras de carga, donde cada una estará conectada con dos biodigestores. Todas las características de la cámara de carga se muestran en la *Figura 25*.

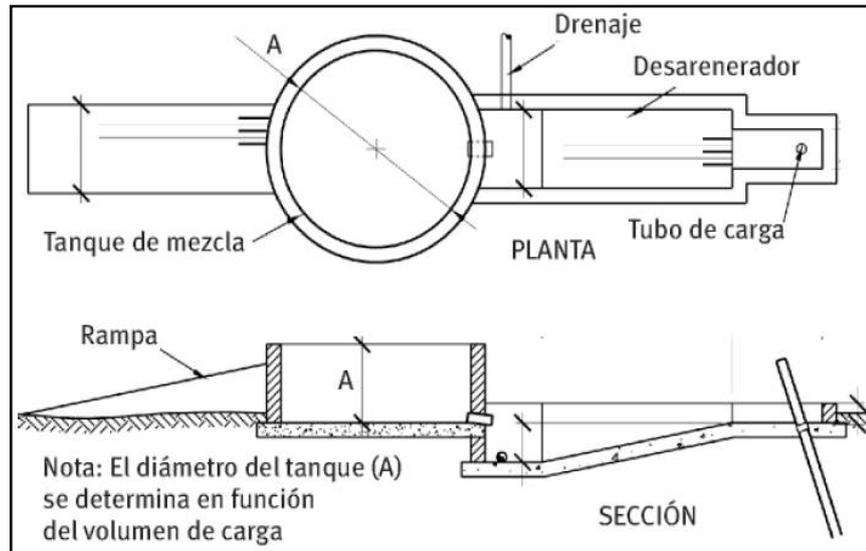


Figura 25: Cámara de carga del biodigestor modelo Chino.
Fuente: Guardado, 2007

Por tanto, para el cálculo del volumen del tanque de mezcla se tomará un margen de seguridad del 15% respecto al volumen de carga diaria. Asimismo, como se tendrá dos cámaras de carga, ambas compartirán las mismas dimensiones como se muestra en la *Ecuación 8*.

$$V_{\text{tanque}} = \frac{1,15 V_{\text{biomasa}}}{2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

V_{tanque} : Volumen del tanque de mezcla (m^3)

V_{biomasa} : Volumen de biomasa disponible (m^3)

Cabe indicar que la biomasa disponible fue de 3 572,40 m^3 /día, al contar con 35 biodigestores, para cada uno la masa estuvo dado por 102,07 m^3 /día.

Entonces:

$$V_{\text{tanque}} = \frac{1,15(102,07 m^3)}{2}$$

$$V_{\text{tanque}} = 58,70 m^3$$

Una vez obtenido el volumen del tanque procedemos a hallar el diámetro del mismo utilizando la *Ecuación 9*, teniendo en cuenta que la altura del tanque será de 1,74 m (*Ver Tabla 10*).

$$A = \sqrt{\frac{4V_{\text{tanque}}}{(1,74 \text{ m})\pi}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

A: Diámetro del tanque de mezcla (m)

V_{tanque}: Volumen del tanque de mezcla (m³)

$$A = \sqrt{\frac{4(58,70 \text{ m}^3)}{(1,74 \text{ m})\pi}}$$

$$A = 6,55 \text{ m}$$

Dado que cada cámara de carga debe alimentar a dos biodigestores del sistema, se deberá dividir en dos el caudal de la mezcla antes de que entre en los biodigestores. Para ello, se coloca en el último tramo del desarenador una pared divisoria y dos tubos de carga, uno en cada división, que alimentarán cada uno a un biodigestor, ambos tendrán un diámetro de 10 cm, y el extremo que entra en la cámara de digestión estará a 1 m de altura sobre el fondo.

4.5.5.3. Producción de abono orgánico

El abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, en ausencia de oxígeno. Es una especie de fertilizante, rentables ecológicamente y económicamente. Contiene nutrientes que son asimilados fácilmente, por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes.

De acuerdo (Bishir y Ekwenchi, 2012) en su experimento realizado en Nigeria obtuvieron un rendimiento del 68% de biolíquido con respecto a la biomasa utilizada. Entonces para determinar el abono que se obtendrá anualmente se empleó la *Ecuación 10*.

$$C_{ab} = C_{res.orgánicos} \times R_{abono\ orgánico} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

C_{ab} : Abono orgánico generado anualmente (kg/año)

$C_{residuo\ orgánico}$: Cantidad de residuo orgánico (kg/día)

$R_{abono\ orgánico}$: Rendimiento del abono orgánico ($m^3\text{biol}/m^3\text{res. Org.}$)

$$C_{ab.} = 68\,440 \frac{\text{kg res. org.}}{\text{día}} \times 28 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} \times 0,68 \frac{\text{kg biol}}{\text{kg res. org.}}$$

$$B_{biol} = 15\,637\,171,20 \frac{\text{kg abono orgánico}}{\text{año}}$$

4.5.5.4. Sistema completo

En conclusión, el sistema estará formado por 35 biodigestores en paralelo, cada uno de ellos con la cámara de compensación correspondiente.

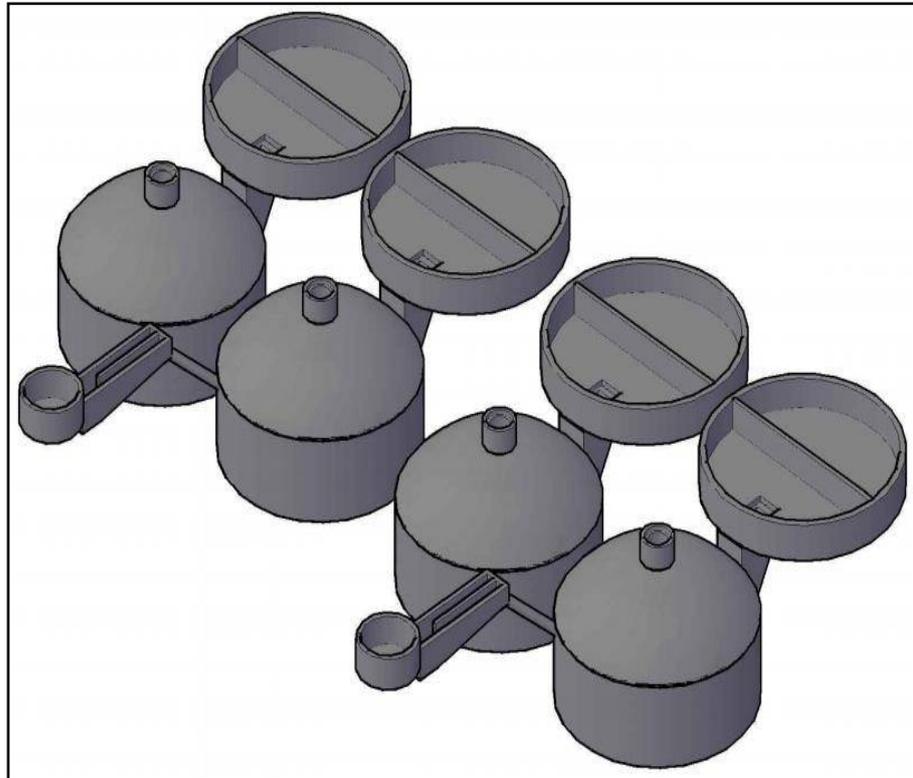


Figura 26: Biodigestores
Fuente: Elaboración Propia

4.5.5.5. Desulfurador

El biogás es una mezcla de gases compuesta por dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), vapor de agua (H_2O), sulfuro de hidrógeno (H_2S), así como restos de nitrógeno (N_2), hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2) y amoníaco (NH_3). El metano pertenece a la familia de los hidrocarburos, por tanto, tiene propiedades inflamables, mientras que los otros gases (CO_2 , H_2O , H_2S , etc.) tan solo diluyen el biogás.

Dado que el biogás será el combustible que se empleará para la generación de electricidad, es de suma importancia garantizar que

el mismo no contenga compuestos que vayan a dañar física y/o químicamente el equipo en el que se piensa aprovechar.

En la *Figura 27* se observa los principales componentes a tener en cuenta en el diseño del desulfurador.

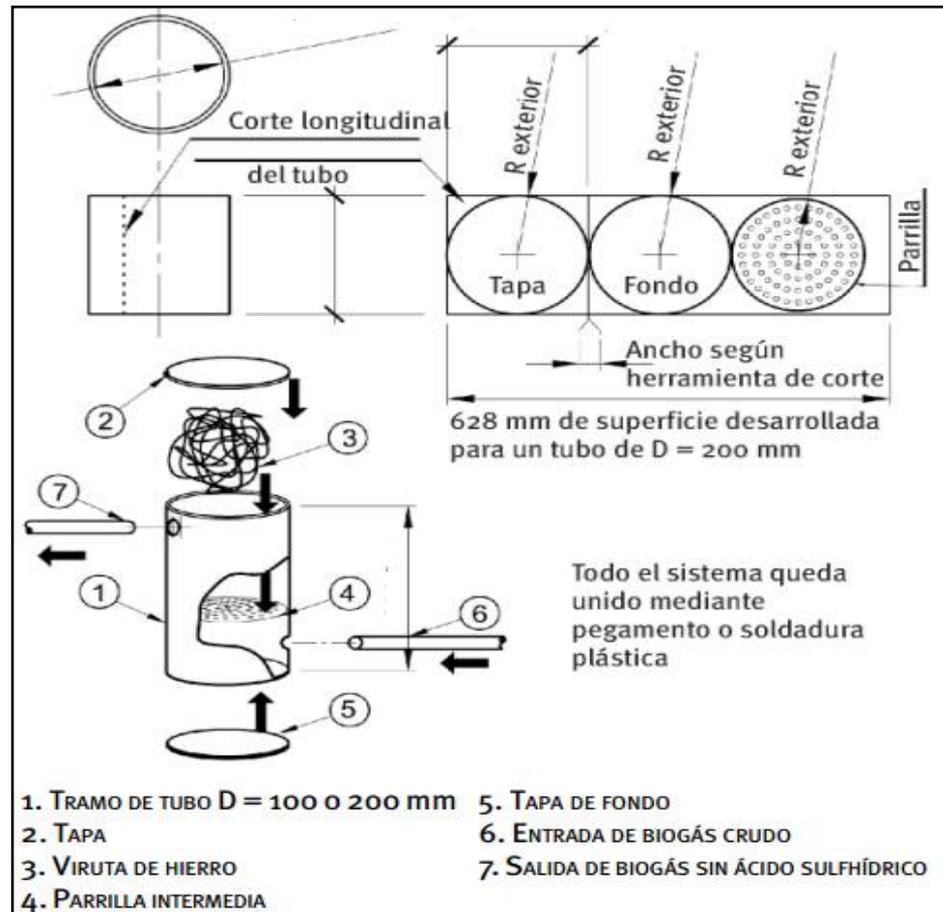


Figura 27: Montaje de un desulfurador.

Fuente: Guardado, 2007

Con respecto a la composición de biogás brindado por (Bishir y Ekwenchi, 2012), se puede obtener la cantidad de metano (CH_4) que se produce, pues este representa el 62,5% del volumen del biogás, asimismo el H_2S representa el 9,2 %. Conociendo estos datos se puede calcular el volumen de CH_4 y del H_2S para proceder al diseño del desulfurador.

A continuación, se calculó el flujo volumétrico para el conjunto total de los biodigestores empleando la *Ecuación 11*:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

\dot{V} : Flujo volumétrico del componente (m^3/h)

V : Volumen del componente (m^3)

t : Tiempo (h)

$$\dot{V}_{\text{biogás}} = 16\,083,4 \frac{m^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8h} = 2\,010,43 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{\text{CH}_4} = 2\,010,43 \frac{m^3}{h} \times 0,625 = 1\,256,53 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{\text{H}_2\text{S}} = 2\,010,43 \frac{m^3}{h} \times 0,092 = 184,96 \frac{m^3}{h}$$

Una vez encontrado el volumen para cada componente, se halló el flujo másico de cada uno empleando la *Ecuación 12*, para el caso del H_2S se multiplicó por la densidad de $1,539 \text{ kg/m}^3$ a CNPT (Facultad de Química UNAM, 2016), y para el CH_4 de $0,717 \text{ kg/m}^3$ a CNPT (Messer, 2016).

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho \quad (\text{Ecuación 12})$$

Donde:

\dot{m} : Flujo másico del compuesto (kg/h)

\dot{V} : Flujo volumétrico compuesto (m^3/h)

ρ : Densidad del compuesto (kg/m^3)

$$\dot{m}_{\text{CH}_4} = 1\,256,53 \frac{m^3}{h} \times 0,717 \frac{kg}{m^3} = 900,93 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{H_2S} = 184,96 \frac{m^3}{h} \times 1,539 \frac{kg}{m^3} = 384,65 \frac{kg}{h}$$

Para el caso del flujo másico del biogás se tomó como referencia el porcentaje en peso de metano.

$$\dot{m}_{biogás} = \frac{900,93 \text{ kg/h}}{0,625} = 1\,441,49 \frac{kg}{h}$$

En la *Tabla 13* muestra las cantidades totales y por biodigestor producidas en flujo másico y flujo volumétrico.

Tabla 13: Resumen de las cantidades producidas.

Gases producidos	Por Biodigestor		Flujo de masa total (kg/h)
	Flujo de masa (kg/h)	Flujo volumétrico (m ³ /h)	
Biogás	41,19	57,44	1 441,49
Metano	25,75	35,90	900,93
H₂S	10,99	5,28	384,65

Elaboración Propia

Se considera la construcción de 10 desulfurador para poder acoger el biogás proveniente de los biodigestores, lo que significa un total de 384,64 kg H₂S/h.

Diversos experimentos a escala industrial demuestran que la capacidad del desulfurador es en promedio 0,35 kgS por cada kg de hierro siendo la duración de las columnas de dos meses, para un tiempo de contacto de 68 minutos (Montalvo y Guerrero, 2003).

Según la composición química del H₂S, para un total de 384,64 kg H₂S existe 362,01 kg S/h o lo que es lo mismo 2 896,11 kg S/día. Por lo tanto la capacidad de eliminación de la columna está dada por:

$$1 \text{ kg Fe} \rightarrow 0,35 \text{ kg S}$$

$$X \text{ kg Fe} \rightarrow 2\,896,11 \text{ kg S}$$

$$X = 8\,274,60 \text{ kg Fe}$$

Entonces, se divide por la densidad del hierro de $7\,860 \text{ kg/m}^3$ (Agapito, 2007) y se multiplica por 56 días (2 meses laborales) obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Capacidad del desulfurador} = \frac{8\,274,60 \text{ kgFe}}{7\,860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \times 56$$

$$\text{Capacidad del desulfurador} = 56 \text{ m}^3 \text{ Fe}$$

Se propuso la construcción de 10 desulfuradores, por lo tanto, la capacidad de cada uno es de $5,6 \text{ m}^3 \text{ Fe}$.

La columna debe estar rellena con hierro y aserrín en proporción de 60 a 40 %, respectivamente (Montalvo y Guerrero, 2003). El valor obtenido de $5,6 \text{ m}^3$ representa el 60% de la columna, el 40% será de $0,26 \text{ m}^3$ de aserrín.

$$\text{Volumen total} = 5,60 \text{ m}^3 + 3,73 \text{ m}^3 = 9,33 \text{ m}^3$$

El área transversal del desulfurador es una sección circular, la cual puede hallarse de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{\dot{V}_{\text{biogás}}}{v_{\text{biogás}}} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

A_T : Área transversal del desulfurador

$\dot{V}_{\text{biogás}}$: Caudal volumétrico de biogás

$v_{\text{biogás}}$: Velocidad del biogás

La velocidad del biogás a través del desulfurador no debe ser menor de 5 cm/s (Montalvo y Guerrero, 2003), equivalente a 180 m/h.

$$A_T = \frac{2\,01,043 \frac{m^3}{h}}{180 \frac{m}{h}}$$

$$A_T = 1,12 m^2$$

Entonces, el diámetro es:

$$1,12 = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$\phi = 1,19 m$$

Por último, la altura del desulfurador viene dado por la *Ecuación 14*.

$$h = \frac{V_T}{A_T} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

h: Altura del desulfurador

A_T: Área transversal del desulfurador

V_T: Volumen total del desulfurador

$$h = \frac{9,33 m^3}{1,12 m^2}$$

$$h = 8,33 m$$

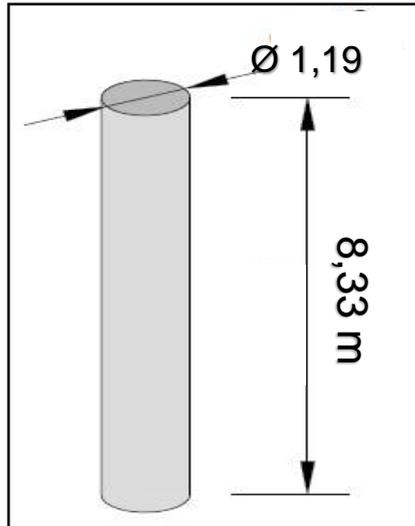


Figura 28: Desulfurador
Fuente: Elaboración Propia

La cantidad entrante de biogás a los desulfuradores es de 1 441,49 kg/h menos la cantidad del ácido 384,65 kg/h, entonces la cantidad de biogás limpio que saldrá del desulfurador es de 1 056,84 kg biogás/h.

Entonces, si la cantidad entrante de metano es de 900,93 kg/h, el porcentaje de metano en el biogás limpio será de:

$$\%CH_4 = \frac{\dot{m}_{CH_4}}{\dot{m}_{biogás}} \times 100\% \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

$\%CH_4$: Porcentaje de metano en gas limpio (%)

\dot{m}_{CH_4} : Flujo de metano (kg/h)

$\dot{m}_{biogás}$: Flujo de biogás limpio (kg/h)

$$\%CH_4 = \frac{900,93 \text{ kg } CH_4/h}{1\,056,84 \text{ kg biogás/h}} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 85,25$$

Mientras que el porcentaje de dióxido de carbono será de:

$$\%CO_2 = 100 - 85,25$$

$$\%CO_2 = 14,75$$

4.6. Estudio de Impacto Ambiental

4.6.1. Análisis de sostenibilidad ambiental

Para el desarrollo de esta propuesta se evaluaron las características ambientales y los elementos, tales como las características químicas, físicas, condiciones biológicas, relaciones ecológicas y factores culturales que intervienen en el proyecto, esto permitirá identificar los impactos que generan durante la modificación del régimen, transformación del territorio y construcción, también en la extracción de recursos, procesos, alteraciones del terreno, situación y tratamientos de residuos y el control del sistema y accidentes, que se generarían dentro de la propuesta para la instalación de un sistema generador de biogás.

Para ello se realizará una matriz de Leopold, para que permita identificar los impactos y su origen, y por ende se podrá estimar la importancia y magnitud de los impactos. Esto permitirá identificar los efectos que generará en la construcción desde el inicio hasta el fin de la construcción.

La matriz a desarrollarse permite un análisis cualitativo de los posibles efectos del proyecto sobre los componentes ambientales (Físico, químicos, Biológico, culturales y relaciones ecológicas).

En la tabla N° 14. Se presenta la matriz Leopold que se utilizará para esta investigación.

Factores culturales	Usos del territorio	Zona industrial	+	+		+			+		+	+	+	+	+	+			+	+	+		+		-	-	+	
	Estéticos y de interés humano	Vistas panorámicas y paisajes	-	-		-		+		-	-			-	-				-									-
		Naturaleza																										
	Nivel cultural	Salud y seguridad	-					-												-		-	-	-	-	-	-	-
		Empleo	+	-	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Servicios e infraestructura	Estructuras	+	-		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
		Red de transporte (movimiento, accesos)	+	-		+		+	+																			+
		Red de servicios	+	-	+	+		+		+															+			+
		Disposición de residuos	+	-				+				+		+	+	+												+
	Relaciones ecológicas	Otros	Insectos y enfermedades	+	+			+												+							-	+
Evaluaciones			+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+

4.6.1.1. Etapas de construcción:

a. Características físicas y químicas

Con respecto a los suelos y la geomorfología en la matriz de Leopold se puede observar que presenta valores negativos de poca magnitud y de poca importancia, ya que no genera una amenaza de alto riesgo al ambiente.

- ✓ **La atmósfera:** Afectada por el particulado que se genera durante el tránsito de las unidades de transporte, la carga y descarga de material de cobertura y las emisiones generadas por los productos confinados y que son evacuadas por las chimeneas.
- ✓ **Aguas Subterráneas:** Su afectación es prácticamente nula, ya que la napa detectada se encuentra por debajo de los 25 metros de la superficie (Ministerio de Agricultura, 2004).
- ✓ **Aguas Superficiales:** No existen en la zona ni en la periferia, por lo cual no son afectadas.
- ✓ **Suelos:** Efecto menor, ya que la zona está constituida por tierras arcillosas, con alto poder de hermeticidad, motivo por el cual estas áreas son las más adecuadas para este tipo de labor.
- ✓ **Ruidos:** Efecto menor, ya que durante las etapas de operación, éste efecto es moderado.
- ✓ **Estética y Paisajista:** Su efecto será nulo conforme se vayan cerrando las celdas completadas, ya que luego de su sellado, la estética de la zona prácticamente no se afectará de manera sustantiva.

b. Condiciones biológicas

- ✓ **Flora Terrestre:** No es afectada debido a su casi ausencia total en la zona. A excepción de arbustos xerófilos y gramíneas efímeras, la zona se caracteriza por fragmentos rocosos heterométricos angulares y subangulares, de nula aptitud agrícola.

- ✓ **Fauna Terrestre:** No se ha detectado fauna mayor cerca de la zona.
- ✓ **Biota Acuático:** La operación no afecta ya que se * encuentra fuera del área de influencia.
- ✓ **Hábitat Terrestre:** No es afectado
- ✓ **Hábitat Acuático:** No se afecta por estar fuera del área de influencia del proyecto.

c. Factores culturales

Con respecto a los factores culturales se observa que presenta valores positivos en relación a sus magnitudes e importancia, ya que beneficiará a la población con más puesto de trabajo para la construcción de este.

- ✓ **Salud y Seguridad:** La operación encara niveles de riesgo menores que los de cualquier planta industrial que maneje equipamiento pesado, unidades de transporte mayores y algunos componentes de relativa toxicidad al operarse al aire libre, por lo que sus operaciones se desarrollan dentro de los límites adecuados de seguridad industrial, con la finalidad de no afectar la salud humana de los trabajadores ni del entorno adyacente.
- ✓ **Turismo:** No tiene efecto este componente.
- ✓ **Arqueología:** no serán afectados por la operación del relleno de seguridad.
- ✓ **Oportunidad de Trabajo:** Se empleará mano de obra local para la ejecución del proyecto.

d. Relaciones ecológicas

Presenta un impacto positivo ya que se limpiarán los desmontes, yerbas, entre otros beneficiando así a los trabajadores ya que se disminuirá insectos y se evitara algún tipo de enfermedad o contagio.

4.6.1.2. Etapa de funcionamiento

a. Características físicas y químicas

Se presenta valores positivos con relación al tratamiento bacteriano ya que se utilizaran residuos sólidos que no generará ningún impacto a los suelos, ya que el biodigestor estará completamente cerrado y no habrá paso del gas.

Pero se debe tener en cuenta que si existen valores negativos por alguna falla del sistema.

b. Condiciones biológicas

No presenta ningún tipo de peligro en la etapa de funcionamiento, ya que no intervienen en la generación de biogás.

c. Factores culturales

Presenta valores respectivamente altos en relaciona a la magnitud e importancia, ya que tendrá cambios favorables por que se dará uso a los residuos que son generados por la población, también se creará más empleo para el buen desarrollo y funcionamiento de sistema.

También se observa que existen valores negativos que son mínimos en cuanto a la magnitud e importancia, por ejemplo, si se habla de la salud de las personas que trabajarán se debe tener en cuenta el buen uso de equipos de protección para evitar cualquier tipo de contagio o enfermedad.

d. Relaciones ecológicas

Con respecto al proceso, la situación y tratamiento de residuos, se observa valores favorables, debido que cuando se recoge los residuos para su tratamiento dentro del biodigestor, disminuirán las moscas e insectos y por ende se evitarán enfermedades.

4.6.1.3. Etapa de cierre (control de accidente y sistema)

a. Características físicas y químicas

Respecto a la matriz de Leopold se observa valores negativos de poca magnitud e importancia con respecto a los suelos, calidad del aire, la temperatura, entre otras ya que todo esto puede ser afectado si es que no se lleva un buen control y funcionamiento del sistema ya que pueden existir fugas, explosiones, para evitar esto se debe monitorear para que todo el sistema funcione en condiciones óptimas.

b. Condiciones biológicas

La flora no se ve afectada ya que no existe vegetación alguna en el terreno, con respecto a la fauna si se puede ver afectado, pero no de manera drástica, ya que, si hubiera un mal funcionamiento fuga, entre otros, los animales, insectos se verían afectados, pero no en magnitud.

c. Factores culturales

Con respecto a la zona industrial, la salud, la seguridad y las estructuras, se verían afectadas, pero no de manera drástica, ya que la extensión del peligro es mínima. Si es que hubiera algún tipo de fallo esto generaría más empleo para dar solución al problema.

d. Relaciones ecológicas

Considerar que si el sistema no funciona de manera correcta y existe fugas este podría contraer algún tipo de enfermedad a los trabajadores en este caso sino llevaran los equipos debidamente correctos.

4.6.1.4. Medidas de mitigación

a. Construcción, funcionamiento y cierre

Para la construcción, funcionamiento y cierre se tendrán en cuenta las siguientes medidas mitigadoras.

- **Construcción**
 - ✓ Delimitar de manera correcta los lugares en donde se realizarán el proyecto.
 - ✓ Se recomienda humedecer el suelo para evitar la generación de polvo material particulado.
 - ✓ Trabajar con las medidas de seguridad adecuadas.
 - ✓ Usar materiales de construcción que no generen contaminación al medio ambiente.
- **Funcionamiento**
 - ✓ Utilizar los equipos de manera correcta para el recojo de los residuos.
- **Cierre**
 - ✓ Monitorear periódicamente el sistema para evitar alguna falla.
 - ✓ Brindar una disposición final adecuada a los residuos.

4.6.2. Identificación y cuantificación de impactos

Los posibles impactos ambientales que se podrían presentar se enumeran a continuación:

- ✓ Partículas en suspensión en la zonas de transito interno generadas por las unidades de transporte pesado
- ✓ Emisiones de gases por descomposición de material orgánico en el "Frente de Trabajo".
- ✓ Ruido industrial en zonas de operación de maquinaria pesada.
- ✓ Emisiones de gases y generación de vectores en 'mesas' trabajadas.

- ✓ Partículas en suspensión en la zona de carga de material de cobertura.
- ✓ Trapos y cartones contaminados con hidrocarburos en la zona de mantenimiento de unidades de transporte y maquinaria pesada.
- ✓ Aguas residuales del Pozo Séptico
- ✓ Lixiviados drenados al subsuelo
- ✓ Lixiviados acopiados en las pozas de captación
- ✓ Contaminación por manipulación de residuos por maniobras para recuperar material reciclable.

4.6.3. Tipo de efecto, duración y posibilidad de ocurrencia

Para la evaluación integral de los impactos sobre todos los componentes ambientales se ha considerado los siguientes niveles.

Tipo de impacto	Adverso o Beneficioso (A/B)
Área involucrada	Local o Regional (L/R)
Tiempo	Corto Plazo o Largo plazo (CP/LP)
Duración	Intermitente o Continuo (I/C)
Implicación	Indirecta o Directa (I/D)
Efecto	Reversible o Irreversible (R/I)

4.7. ESTUDIO ECONOMICO FINANCIERO

El caso de la instalación de un relleno sanitario es particular. El fin de esta instalación es mejorar las condiciones de salubridad de la población de la Provincia de Chiclayo y ciudades aledañas. Por tanto no se persigue una rentabilidad económica.

La Cooperación Suiza-SECO, la Cooperación Japonesa - JICA y el Banco Interamericano de Desarrollo-BID han decidido unir voluntades y recursos financieros para seguir impulsando en el Perú la construcción de ciudades saludables y competitivas, mediante la modernización de los sistemas de gestión de residuos sólidos. La meta de los próximos tres años es pasar de 9 rellenos sanitarios a 40, según anunciaron en un Foro Nacional, realizado en Lima el 13 de diciembre del presente año (SECO, 2015).

El financiamiento de los proyectos de inversión en residuos sólidos por parte de la Cooperación de las tres fuentes internacionales bordea los \$138.88 millones de dólares: Aproximadamente 15 millones de la Cooperación Suiza-SECO en calidad de donación para el Proyecto de Gestión de Residuos Sólidos en la ciudad de Chiclayo y 696 mil para el proyecto de Responsabilidad Social Empresarial para el Manejo de los Residuos Electrónicos en el Perú. Por parte de JICA, 107.5 millones para 23 ciudades; y un préstamo del BID por 15.69 millones para 8 ciudades (SECO, 2015).

Por lo tanto la inversión para la instalación de manejo integral de los residuos sólidos de la Provincia Chiclayo, y que asciende a 15 millones de dólares, está totalmente financiada vía donación de SECO. Los 15 millones de dólares incluye todas las etapas del manejo de residuos sólidos, desde la etapa de recolección hasta la etapa de disposición final en el relleno sanitario.

En la Tabla 15 se muestra los costos separados de recolección, transferencia y del relleno sanitario. Según los datos de la Tabla el costo del relleno sanitario alcanza entre 18.75% y 25%. Para el proyecto se considera 25%, es decir la inversión en solo el rellenos sanitario ascendería a 3.75 millones de dólares.

Tabla 15.
Costos estimados para un manejo adecuado de RSM

	Países de ingreso bajo	Países de ingreso medio
Generación promedio	200 Kg/per cáp./año	300 Kg/per cáp./año
Ingreso promedio PIB	US\$370 /per cáp./año	US\$2.400/per cáp./año
Costo recolección	US\$10-30/t	US\$30-70/t
Costo transferencia	US\$3-8/t	US\$5-15/t
Costo relleno sanitario	US\$3-10/t	US\$8-19/t
Costo total sin transferencia	US\$13-40/t	US\$38-85/t
Costo total con transferencia	US\$16-48/t	US\$43-100/t
Costo total per cápita	US\$3-10 /per cáp./año	US\$12-30 /per cáp./año
Costo como % de ingreso	0,7-2,6%	0,5-1,3%

Fuente: BID, 2009.

La inversión total para el relleno sanitario, ascendente a 3.75 millones de dólares será repartido en forma porcentual de acuerdo a los recomendado por CalRecovery Inc., en su Guía para Rellenos Sanitario en Países en Desarrollo, y que se resume en la Tabla 16.

Tabla 16
Costos individuales en relación al costo total del relleno sanitario

Componente	% Costo Total
Pre-desarrollo	3.6
Costo de construcción	35.5
Costo de operación	46.0
Clausura	0.9
Atención a largo plazo	11.5
Imprevistos	2.5

Fuente: CalRecovery, 1997.

4.7.1. Inclusión social del proyecto

Como parte del proyecto integral, y que no ha sido motivo del presente estudio, se contempla la instalación de una planta de reciclaje que será construido en las cercanías del relleno sanitario con toda la modernidad tecnológica para que los recicladores asociados puedan ejecutar su labor en mejores condiciones de salubridad. Ellos podrán vender los materiales reciclados a precios que se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

Precios de compra de los residuos aprovechables en los centros de reciclaje de la ciudad de Chiclayo

Material	Precio S/. / kilo
PET	1.2 - 1.6
PEAD	0.6 - 0.9
PVC	0.8
Vidrio Blanco	30.00 (Ton)
Vidrio de color	25.00 (Ton)
Botellavidrio 125 mL	1.5
Botellasvidrio de 1 ¹ / ₂ mL	0.10/ botella
Botellas vidrio de 200 mL	0.20/ Und
Botella Vidrio 5lt	0.50/ Und
Papel Blanco	0.8 - 0.85
Papelcolor/ papelplastificado	0.15 - 0.25
Papel Periódico	30.00 (Tn)
Cartón	0.35
Chatarra (Común)	0.50 - 0.6
Aluminiodelgado	3.5
Lata (tarros)	0.50 - 0.57
Aerosoles	0.6
Zapatillas	0.8
Jebe	1.6
Fill	0.5 - 0.8

Fuente: Municipalidad Provincial de Chiclayo, FIGARS 2012

4.7.2. Inversión total

La inversión total está dado por el Terreno, Edificaciones, Mobiliario, Maquinaria y equipo, Herramientas, Vehículos, Gastos pre-operacionales, como se puede observar en el anexo 3.

4.7.3. Financiamiento

El financiamiento está destinado hacia la adquisición de activos fijos y a la conformidad del capital de trabajo, esto permitirá poder iniciar la construcción del relleno sanitario. (Ver anexo 4 y 5)

4.7.4. Otros beneficios económicos

En las cercanías a Reque, precisamente en Etén, se tiene instalado una central termoeléctrica de 184 MW (Osingerming, 2016), por lo que se tendría asegurado la venta del gas producido en el relleno sanitario, para lo cual se tiene que evaluar la recolección, purificación y transporte del biogás.

4.7.5. Resumen total de costos

En el anexo 6 se presentan los costos totales calculado en el punto de presupuestos de costos (costos de producción, gastos administrativos, gastos financieros, entre otros).

4.7.6. Estado de ganancia y pérdida.

Este estado financiero muestra una relación de los ingresos y egresos que se dan en un determinado periodo en la empresa. También, permite analizar y verificar el comportamiento de las operaciones de ingresos y egresos y el efecto de estas en los resultados que pueden reflejarse en utilidad. Los indicadores más importantes son:

Ingresos: Se considera los ingresos por ventas de mango fresco y descarte los que han sido determinados anteriormente.

Egresos: Dentro de este punto se considera los costos de fabricación, gastos de operación, depreciación y gastos financieros que fueron analizados anteriormente.

Impuesto a la renta: En este punto el impuesto a la renta se da por las personas jurídicas domiciliadas se determinará aplicando la tasa de 30% sobre su renta neta. El estado de ganancia y pérdida se puede ver en la anexo 5 muestra la rentabilidad de la empresa en los próximos 5 años; en pocas palabras los ingresos, costos y gastos en US\$.

Lujo de caja anual: El flujo de un proyecto se conoce como el conjunto de pagos que realizamos por los recursos que aplicamos a un proyecto. Siempre se ha de tener en cuenta el momento en que este pago se hace efectivo. Con el desarrollo del flujo de caja puede calcularse el VAN y el TIR que representa la rentabilidad que nos genera de inversión que requiere una serie de desembolso a lo largo de los 5 años.

En la anexo 5 Se puede apreciar el flujo de caja anual de los próximos 5 años proyectos.

4.7.7. Tasa de Interés de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

Como se mencionó anteriormente, el flujo de caja permite el cálculo de estos indicadores.

VAN: Conocido también como el valor presente neto y se define como la sumatoria de los flujos netos de caja anuales actualizados menos la inversión inicial.

En este punto se toman los siguientes criterios para así poder tomar las decisiones de aceptación o rechazo del proyecto, cuando se emplea el método de Valor Actual Neto (VAN) es el siguiente.

- ✓ Si $VAN > 0$: La inversión producida ganancias y se acepta el proyecto.
- ✓ Si $VAN < 0$: La inversión producida pérdidas y se rechaza el proyecto.

- ✓ Si $VANE=0$: La inversión producida ni ganancia ni pérdida y es indiferente.

En este caso el **VAN** muestra un monto de US\$ 40,473.19 lo que significa que el proyecto es aceptable ya que es un resultado positivo y por ende generará ganancias.

TIR: Este método considera que una inversión es aconsejable si la TIR que se obtiene como resultado es igual o superior a la tasa exigida por el inversor. Para el TIR resultó 15,2% lo que indica que el rendimiento del proyecto es mayor al monto del capital de los accionistas y por lo tanto resulta viable. Ver anexo 7

Tabla N°18. Tasa de Interés de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN)

Valor Actual Neto (VAN)	US\$ 40,473.19
Tasa de Interés de Retorno (TIR)	15,2%
Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR)	15%

DISCUSIONES

- La problemática en el manejo de los residuos sólidos se ha ido empeorando, es por esta razón que se debe tratar de controlar el desequilibrio que actualmente tenemos entre la basura que producimos y la forma de eliminación de este ya que los pobladores no son conscientes del grave problema que ocasionan al no tomar medidas en la eliminación de su desechos.
- El Perú al igual que muchos países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido a que el estado ambiental cambia por el crecimiento de las poblaciones concentradas hacia grandes ciudades como en los casos de Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo, entre otros, teniendo como causa principal la migración de las zonas rurales a las ciudades. Asimismo la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación de alerta en relación al manejo de los residuos sólidos en nuestro país.
- En la actualidad se estima que la producción total de esos desperdicios supera las 22 mil 475 toneladas diarias en el país, y sólo el 17 % de la generación diaria es dispuesta en rellenos sanitarios. En consecuencia es previsible determinar que el 83% es destinado a lugares inadecuados, causando daño al ambiente y la salud humana.
- Por esta razón las autoridades pertinentes deben tomar medidas correctivas y preventivas para evitar consecuencias irreparables que causen o sigan causando más daño.
- Las personas que recolectan residuos sólidos en los botaderos, están expuestos a los mayores riesgos para su salud, porque no cuentan con ninguna medida de seguridad para desarrollar sus actividades como son las botas, guantes, mascarilla, entre otros, y también sufren principalmente de afecciones gastrointestinales de origen parasitario,

microbiana o viral, además de sufrir mayores lesiones en las manos, pies, espalda, enfermedades a la piel, dientes, ojos e infecciones respiratorias.

- Los residuos sólidos al ser dispuestos en botaderos, ubicados en las vías públicas, terrenos descampados, riberas de ríos o quebradas, entre otros, deterioran la calidad del suelo y el agua, por la alta carga bacteriana que contienen, agravando la situación cuando están mezclados con sustancias tóxicas peligrosas.
- La quema indiscriminada que se realiza en estos lugares deteriora la calidad del aire, sumándose a esto los olores fétidos que se generan a causa de las emisiones de gases producto de la descomposición de los componentes orgánicos contenidos en los residuos sólidos.
- Mediante el estudio realizado sobre el aumento de basura se determinó que en la ciudad de Chiclayo es necesario la instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado y recuperación de biogás.

CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio de pre factibilidad de instalación de una planta de tratamiento de residuos sólidos con relleno sanitario mecanizado y recuperación de biogás, para la ciudad de Chiclayo. Se determinó que técnicamente es factible.
- La producción de lixiviados se determinó que alcanzará un nivel de 106.77 kg por toneladas de RSM. Se tomó el 20% de residuos sólidos para la planta de tratamiento con relleno sanitario que es 23 222 m³ de volumen y se determinó que el número de biodigestores es de 35 en paralelo a 680 m³.
- Con respecto a la localización de la planta de tratamiento de residuos sólidos estará ubicada en las pampas de Reque, en un área de 400 hectáreas, recientemente donado por la Fuerza Aérea del Perú. Los diseños se han realizado en base a la Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado, y el Reglamento para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos del Ámbito Municipal.
- En la evaluación económica financiera, se obtuvo un TIR DE 15,2% Y TMAR 15% que es de, arrojando un VAN de US\$ 40,473.19 por lo que podemos concluir que la empresa es rentable y factible para su ejecución.
- Desde la perspectiva ambiental tiene un beneficio social, debido a que se asegura la salud de los habitantes de la Provincia de Chiclayo y ciudades aledañas.

RECOMENDACIONES

- Construir y operar el relleno sanitario para la Provincia de Chiclayo y distritos aledaños.
- Controlar y monitorear el desempeño del relleno sanitario en base a las recomendaciones de la Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado, publicado por el Ministerio del Ambiente.
- Promover una cultura de pago por un mejor servicio que asegure una operación en óptimas condiciones del futuro relleno sanitario.
- Evaluar el uso del lixiviado como reciclo a las celdas para disminuir el tiempo de generación de biogás y aumentar el rendimiento en producción del biogás.
- El aprovechamiento forma parte del manejo adecuado de los residuos orgánicos que busca disminuir los impactos negativos desde su origen hasta su disposición final a través de usos alternativos, es por ello que se recomienda evaluar otras alternativas como es compostaje para aprovechar al máximo los residuos orgánicos que quedan.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEGRE CH. M, (2008). Análisis sectorial de residuos sólidos, Lima, Perú.
- BOLAÑOS, C. K, (2014). Presentación de las metas 2014 del plan de incentivos a la mejora de la gestión y modernización municipal. Lima, Perú. Ministerio del Ambiente.
- SUDHAKAR Y. (20015.)Int. J. Global Energy Issues, Vol. 23, No. 1, pp. 93-105.
- THOME J, JOSE F. (2003). Disposición final de los residuos sólidos urbanos en el Brasil. 5° Congreso Brasileiro de Geotecnia Ambiental REGEO, Porto Alegre.
- ANDINA. 7 de mayo del 2016. Chiclayo: transfieren 400 ha para la construcción de relleno sanitario. Ministerio de Defensa autorizó transferencia de terreno.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO – BID. 2009. Manejo de Residuos Sólidos. Lineamientos para un Servicio Integral, Sustentable e Inclusivo. Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente. Nota Técnica N° IDB-TN-101.
- CALRECOVERY, INC. 1997. Guía para Rellenos Sanitarios en Países en Desarrollo. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
- CATERPILLAR. 1997. Curso Internacional: Tecnología de Rellenos Sanitarios. Lima, Perú.
- COINTREAU, S. 2006. Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management: Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. Urban Papers No. UP-2. Washington, DC: The World Bank
- Perú. FONAM, 2015. Residuos Sólidos. Fondo Nacional del Ambiente – Perú. Recuperado de:
<http://www.fonamperu.org/general/agua/residuos.php>

- Perú. INEI, 2012. Estimaciones y proyecciones de población total por sexo de la principales ciudades, 2000-2015. Boletín especial N° 23. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales.
- Perú. INEI, 2015. Día Mundial de la Población, 11 de julio. Lima, Perú
- Perú. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2004. Inventario de fuentes de Agua Subterránea en el Valle Chancay – Lambayeque. Instituto Nacional de Recursos Naturales, Intendencia de Recursos Hídricos.
- Perú. MINISTERIO DEL AMBIENTE, PERU. 2010. Guía para Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado.
- Perú. MINISTERIO DEL AMBIENTE, PERU, 2013. Disposición final seguro de residuos sólidos recolectados por el servicio municipal de limpieza pública. Lima.
- Perú. MINISTERIO DEL AMBIENTE, PERU. 2014. Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013. Lima.
- Perú. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHICLAYO. 2010. Proyecto Integral de Residuos Sólidos para la Ciudad de Chiclayo. Chiclayo.
- Perú. MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHICLAYO. 2012. Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque. Organización para el Desarrollo Sostenible, y Ambiente y Desarrollo (AMBID).
- Perú. ORGANISMO DE EVALUACION Y FISCALIZACION AMBIENTAL – OEFA. 2015. Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos de gestión municipal provincial. Informe 2013-2014: Índice de cumplimiento de los Municipios Provinciales a Nivel Nacional.
- Perú. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 2007. Diseño, construcción y operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Curso de

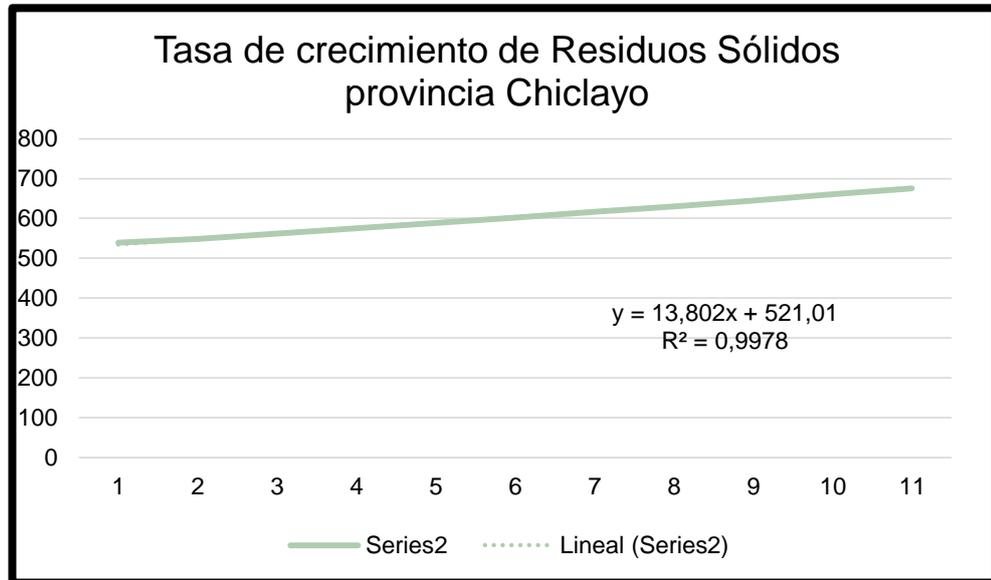
autoaprendizaje. Unidad 3: el relleno Sanitario. Oficina Regional de la Organización Mundial de Salud, Representación en Perú.

- Perú. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. 2011. Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010.
- Perú. OSINERGMIN. 2016. Central termoeléctrica Planta Éten – Reserva Fría. Gerencia de Fiscalización Eléctrica. Unidad de Supervisión de Post Privatización USPP – Agosto 2016.
- PAN-AMERICAN HEALTH ORGANIZATION (PAHO). 2002. Regional Report on the Evaluation of Municipal Solid Waste Management Services for Latin America and the Caribbean. Washington, DC: PAHO.
- SECO – Secretaria de Estado para Asuntos Económicos. 2015. Cooperación internacional financia proyectos de residuos sólidos. 13 de diciembre 2015, Lima, Perú.
- SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA – SEDUE. 2004. Manual para la operación de rellenos sanitarios. México.
- SOSA, BELLA. 2011. Manejo de residuos sólidos: Una guía para socios y personal de Hondupalm. Tegucigalpa: SNV y Hondupalm.
- SUBSECRETARÍA DE GESTIÓN PARA LA PROTECCIÓN AMBIENTAL (SEMARNAT). 2001. Guía para la gestión ambiental de los residuos sólidos municipales. México.

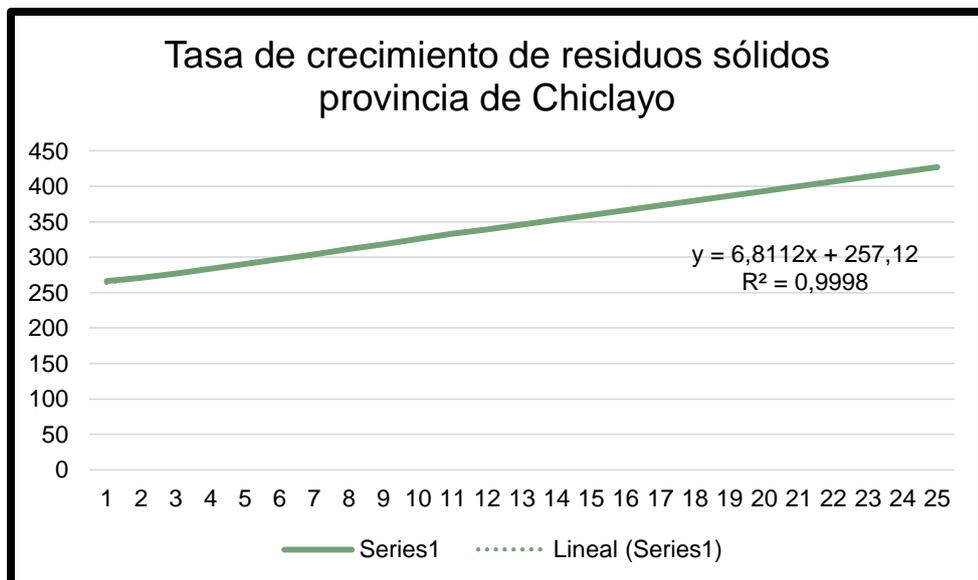
ANEXOS

1. Tasa de crecimiento de la cantidad de residuos sólidos

Utilizando los datos de la Tabla 3.5 y Excel.



La tasa de crecimiento es 13.802 toneladas/por día, proyectando para dentro de 13 años más, es decir 20 años a partir del 2016.



Entonces, para dentro de 20 años, es decir el 2036 se llegaría a una producción diaria de 427 toneladas por día.

Para la proyección se considera que distritos cercanos a la futura planta de relleno sanitario podrían traer sus residuos sólidos. Se asume un 20% adicional.

Para el año 2036: $427 \times 1.2 = 512$ toneladas/día

Para futura planta se considera que 30 a 40% de los residuos sólidos se estarán reciclando o separados en la fuente, dejando una carga neta de 70 a 60%. Se va considerar para el proyecto 65%

Carga neta por día del relleno sanitario: $512 \times 0.65 = 333$ ton/día

Densidad: los distintos reportes especializados indican que la densidad para rellenos sanitarios mecanizados la densidad varía entre 600 a 800 kg/m^3 . Se considera el promedio 700 kg/m^3 .

Volumen diario proyectado: $333 / 0.70 = 476 \text{ m}^3 \cong 480 \text{ m}^3$

2. Determinación de la cantidad de lixiviado en un relleno sanitario con aporte de agua con precipitación nula.

a) Datos:

- ✓ Relleno sanitario en la costa peruana
- ✓ Humedad de los residuos: 70%
- ✓ Tipo de relleno: Trinchera (5 m) + 4 plataformas (40 m).
- ✓ Densidad de Residuos Sólidos
- ✓ Densidad de compactación: 0.6 ton/m^3
- ✓ Pp: Nula

b) Determinando la capacidad de campo:

- ✓ $CC = 0.6 - 0.55 \times (P / (10000 + P))$
- ✓ Relleno de una trinchera + 4 plataformas: 45 metros;
- ✓ Presión de sobrecarga a la altura media: $h = 45 / 2 = 22.5 \text{ m}$
- ✓ Asumiendo una superficie de 1 m^2 : Volumen = $22.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}^2 = 22.5 \text{ m}^3$

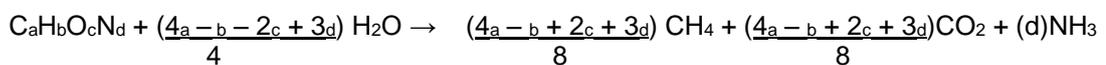
- ✓ Peso= Densidad x Volumen: $P = 0.6 \text{ Ton/m}^3 \times 22.5 \text{ m}^3 = 13.5$
ton = 13500 kg
- ✓ $CC = 0.6 - 0.55 (13500 / (10000 + 13500)) = 0.6 - 0.55(0.57)$
 $CC = 28.4\%$

Cantidad de Humedad aportada:

Asumiendo 1 ton de residuos:

- ✓ Composición de residuos sólidos* = % de materia orgánica (MO) = 70%
- ✓ $W \text{ MO} = 70\% * 1 \text{ ton} = 700 \text{ kg de MO}$
 - Cantidad de Humedad presente* = % de humedad presente en la
MO = 60 % $WH = 60\% * 700 \text{ kg de MO} = 420 \text{ kg H}_2\text{O}$
 $W \text{ MO seca} = 40\% * 700 \text{ kg de MO} = 280 \text{ kg MO seca}$
 - Cantidad de MO (base seca) que se transforma en Biogás = 95 %
 $W \text{ Biogas} = 80\% * 280 \text{ Kg MO (base seca)} = 224 \text{ kg (que se transforma en biogás)}$

Fórmula de los Residuos (base seca) ** =



Donde:

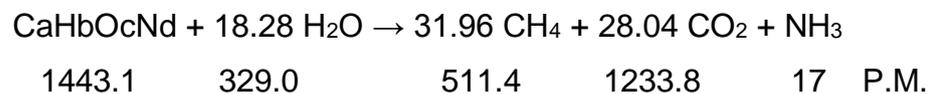
$$a = 60$$

$$b = 94.3$$

$$c = 37.8$$

$$d = 1$$

Residuos;



Cantidad de Agua necesaria para generar biogás:

$$\frac{(329)}{1443.1} * 224 \text{ kg} = 51.07 \text{ kg de H}_2\text{O}$$

W total de agua necesaria para generación de biogás = 51.07 Kg de agua/1000 kg de residuos

Cantidad de agua que potencialmente se transforma en lixiviados
(sin precipitación)

$$\text{Ag lix} = \text{Hum} - \text{Agua Nec}$$

$$\text{Ag lix} = 420 - 51.07 = 368.98 \text{ kg de agua generados}$$

$$\text{Agua retenida} = \text{CC} = 28.4\%$$

Agua que se retiene:

$$\text{Ag Ret} = \text{CC} \times \text{Vol} = 28.8\% \times 1 \text{ ton}$$

$$\text{Ag Ret} = 280 \text{ kg agua}$$

Lixiviado Generado:

$$\text{Lixiv} = \text{Agua Potencialmente transformada} - \text{Agua retenida}$$

$$\text{Lixiv} = 368.98 \text{ Kg H}_2\text{O} - 280 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\text{Lixiv} = 88.98 \text{ kg H}_2\text{O}$$

Se generan 88.98 kg de lixiviados por cada tonelada de residuos sólidos

ANEXO 3

Inversión total

Descripción	Costo Total	Valor Residual	Depreciación anual
Terreno	4,200,000.00	4,200,000.00	N/A
Edificaciones	431,784.00	368,938.50	10,541.10
Mobiliario	22,760.00	2,276.00	4,552.00
Maquinaria y equipo	7,881,780.00	945,813.60	1,313,770.00
Herramientas	75,000.00	7,500.00	75,000.00
Vehículos	5,025,000.00	50,250.00	1,005,000.00
Gastos pre-operacionales	424,210.28	N/A	N/A
TOTAL	18,060,534.28	5,574,778.10	2,408,863.10

ANEXO 4**Característica del crédito**

Monto a financiar	6,735,400.00
Tiempo de préstamo	5
Unidad de tiempo	años
Tasa de interés por unidad de tiempo	10%
CUOTA CONSTANTE	1,776,781.55

ANEXO 5**Plan de pagos**

Año	1	2	3	4	5
Cuota constante	1,776,781.55	1,776,781.55	1,776,781.55	1,776,781.55	1,776,781.55
Amortización de capital	1,103,241.55	1,213,565.71	1,334,922.28	1,468,414.51	1,615,255.96
Intereses	673,540.00	563,215.84	441,859.27	308,367.05	161,525.60
Saldo	5,632,158.45	4,418,592.74	3,083,670.46	1,615,255.96	0.00

ANEXO 6**PLANILLA DE INGRESOS**

PRODUCTOS	AÑO				
	1	2	3	4	5
Residuos sólidos segregados					
Precio unitario	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57
Cantidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SUBTOTAL INGRESOS	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57	9,014,559.57
Biogás					
Precio unitario	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68
Cantidad	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SUBTOTAL INGRESOS	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68	6,588,553.68
TOTAL INGRESOS	15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25

RESUMEN TOTAL DE COSTOS

TIPO DE COSTO	AÑO				
	1	2	3	4	5
COSTOS PRODUCCIÓN					
COSTOS DIRECTOS	5,894,079.59	6,483,487.55	7,780,185.05	10,114,240.57	14,159,936.80
Materia prima	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Insumos	5,894,071.50	6,483,478.65	7,780,174.38	10,114,226.70	14,159,917.38
Suministros	0.21	0.23	0.28	0.36	0.50
Empaque	2.63	2.89	3.47	4.50	6.31
Mano de Obra (si aplica por unidad de producto)	5.25	5.78	6.93	9.01	12.61
MANO DE OBRA (PRODUCCION)					
Directa	1,209,600.00	1,221,696.00	1,233,912.96	1,246,252.09	1,258,714.61
TOTAL COSTOS DIRECTOS	7,103,679.59	7,705,183.55	9,014,098.01	11,360,492.66	15,418,651.41
COSTOS ADMINISTRACION					
Mano de Obra					
Administración	262,080.00	262,080.00	262,080.00	262,080.00	262,080.00
Gastos Generales de administración					
Varios	544,625.08	544,625.08	544,625.08	544,625.08	544,625.08
TOTAL COSTOS ADMINISTRACION	806,705.08	806,705.08	806,705.08	806,705.08	806,705.08
GASTOS FINANCIEROS INVERSION					
Pago de capital	1,103,241.55	1,213,565.71	1,334,922.28	1,468,414.51	1,615,255.96
Pago de intereses	673,540.00	563,215.84	441,859.27	308,367.05	161,525.60
GASTOS FINANCIEROS CAP TRABAJO					
Pago de capital	103,764.29	116,216.01	130,161.93	145,781.36	163,275.13
Pago de intereses	79,103.85	66,652.13	52,706.21	37,086.78	19,593.02
SUB TOTAL COSTOS FINANCIEROS					
Amortizaciones	1,207,005.85	1,329,781.72	1,465,084.21	1,614,195.87	1,778,531.08
Intereses	752,643.85	629,867.98	494,565.48	345,453.82	181,118.61
TOTAL COSTOS FINANCIEROS	1,959,649.69	1,959,649.69	1,959,649.69	1,959,649.69	1,959,649.69
IMPREVISTOS	1%	1%	1%	1%	1%
% SOBRE INGRESOS	156,031.13	156,031.13	156,031.13	156,031.13	156,031.13
TOTAL COSTOS OPERATIVOS	10,026,065.49	10,627,569.45	11,936,483.92	14,282,878.57	18,341,037.31

ANEXO 7
Flujo de cajas anual

CONCEPTO	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos		15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25	15,603,113.25
Costos producción		-7,103,679.59	-7,705,183.55	-9,014,098.01	-11,360,492.66	-15,418,651.41
Costos administración		-806,705.08	-806,705.08	-806,705.08	-806,705.08	-806,705.08
Costos comercialización		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Imprevistos		-156,031.13	-156,031.13	-156,031.13	-156,031.13	-156,031.13
Depreciación		-2,408,863.10	-2,408,863.10	-2,408,863.10	-2,408,863.10	-2,408,863.10
Intereses		-752,643.85	-629,867.98	-494,565.48	-345,453.82	-181,118.61
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	0.00	4,375,190.50	3,896,462.41	2,722,850.43	525,567.45	-3,368,256.09
Impuestos	0.00	-1,312,557.15	-1,168,938.72	-816,855.13	-157,670.23	1,010,476.83
UTILIDAD NETA	0.00	3,062,633.35	2,727,523.69	1,905,995.30	367,897.21	-2,357,779.26
Depreciación		2,408,863.10	2,408,863.10	2,408,863.10	2,408,863.10	2,408,863.10
Inversión inicial	-18,060,534.28					
Inversión capital de trabajo	-659,198.72					
Recuperación capital de trabajo						659,198.72
Préstamo	7,394,598.72					
Amortización de préstamo		-1,207,005.85	-1,329,781.72	-1,465,084.21	-1,614,195.87	-1,778,531.08
Valor de desecho (residual)						5,574,778.10
FLUJO DE CAJA	-11,325,134.28	4,264,490.60	3,806,605.07	2,849,774.20	1,162,564.45	4,506,529.58

