



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA.**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: “DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN PEDRO
MONCAYO PARA EL PERIODO 2019-2029”**

AUTOR: HIDALGO VALENCIA, KAREN LISBETH

DIRECTOR: MGS. LEMA CÁCERES, EDGAR VINICIO

SANGOLQUI

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSTGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "*Diseño del relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo para el periodo 2019-2029*", fue realizado por la señorita Hidalgo Valencia, Karen Lisbeth el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2018

Firma:

Ing. Vinicio Lema, Mgs

C.C.: *1001281474*



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSTGRADOS
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Hidalgo Valencia, Karen Lisbeth*, con cédula de ciudadanía n° 1003836077, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Diseño del relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo para el periodo 2019-2029* es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2018

Firma

Hidalgo Valencia Karen Lisbeth

C.C.: 1003836077



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

AUTORIZACIÓN

Yo, Hidalgo Valencia, Karen Lisbeth autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “Diseño del relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo para el periodo 2019-2029”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 19 de Noviembre del 2018

Firma

Ing. Karen Lisbeth Hidalgo Valencia

C.C.:1003836077

DEDICATORIA

A Diosito por permitirme culminar este trabajo con sabiduría, fuerza y amor; que sin su protección nada mis propósitos tendrían su culminación. Por darme la bendición de cada día cumplir mis sueños.

A mis padres, Jorge y Gladys por ser mi apoyo incondicional en todos mis objetivos. Con su amor, cariño y fortaleza me han sabido guiar y enseñar que con esfuerzo y dedicación se logran los mejores resultados.

A mi hermano Esteban, que representa un motivo para cada día ser mejor persona, con humildad, sabiduría y profesionalismo.

AGRADECIMIENTO

A Diosito por cuidarme siempre y darme la fortaleza para culminar uno de mis objetivos dentro de mi carrera profesional.

Agradezco a mis padres por su amor incondicional, por su apoyo para cumplir cada uno de mis sueños, por sus enseñanzas a lo largo de mi vida, que me ha permitido crecer personalmente y profesionalmente.

Al Ing. Vinicio Lema mi director de tesis, por guiarme en el presente trabajo de titulación; con su amplio conocimiento supo solventar las dudas que se presentaron durante su desarrollo.

Al Dr. Luis Ramos y a la Ing. Margarita Haro, por brindarme su apoyo de forma inmediata desde el inicio de este camino.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo liderado por el Ing. Frank Gualsaqui como Alcalde y el Ing. Luis Catucuago, Director de Gestión Ambiental por prestarme todas las facilidades para emitir este trabajo.

INDICE GENERAL

1 Capítulo: ASPECTOS GENERALES	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos.	20
1.3.1 Objetivo General.	20
1.3.2 Objetivos Específicos.....	20
1.4 Localización y Área de Influencia.	21
2 Capítulo: MARCO TEÓRICO	21
2.1 Historia de los residuos sólidos.....	22
2.2 Propiedades de los residuos sólidos	24
2.2.1 Propiedades físicas.	24
2.2.2 Propiedades químicas.....	28
2.2.3 Propiedades biológicas.....	31
2.3 Definición Relleno Sanitario.....	31
2.4 Tipos de Relleno.....	32
2.5 Métodos de vertido.....	33
2.6 Normativa ecuatoriana vigente referente rellenos sanitarios	34
2.7 Diseño de Relleno Sanitarios	34

2.7.1 Restricciones	35
2.7.3 Requisitos mínimos	39
2.8 Características del lugar de emplazamiento	42
2.8.1 Condiciones Climatológicas.....	44
2.8.2 Condiciones Hidrogeológicas	45
2.8.3 Condiciones Geológicas.....	45
2.8.4 Condiciones Topográficas.....	45
2.8.5 Aspectos demográficos	45
2.8.6 Aspectos Generales desechos sólidos	47
2.8.7 Aspectos Operacionales	54
3 Capítulo: ESTUDIOS PRELIMINARES	73
3.1 Estudio Topográfico.....	73
3.2 Estudio Geológico y Geomecanizado	74
3.3 Estudio Geomorfológico	77
3.3.1 Unidades Ambientales.....	77
3.3.2 Descripción Geomorfológica - Geológica.....	79
3.4 Estudio de Suelo.....	80
3.4.1 Ensayos.....	80
3.5 Estudio Climatológico y Meteorológico	84
3.5.1 Precipitación.....	85
3.5.2 Temperatura	88

3.6 Estudio Hidrológico	89
3.7 Estudio Poblacional.....	90
3.7.1 Población en área urbana y rural por sexo	90
3.7.2 Densidad poblacional	91
3.7.3 Disponibilidad de servicios básicos	91
3.7.4 Proyección de Población	92
3.8 Características de los desechos del cantón Pedro Moncayo	93
3.8.1 Generación per cápita:.....	93
3.8.2 Composición de los desechos.....	105
3.8.3 Peso volumétrico	112
3.8.4 Cantidad y proyección de los desechos generados.....	114
3.8.5 Cálculo de volumen necesario.....	115
3.8.6 Cálculo de celda diaria.	116
3.8.7 Calculo del área requerida.....	118
3.8.8 Producción de Gases	119
3.8.9 Producción de Lixiviados.....	128
4 Capítulo: DISEÑOS	137
4.1 Diseño del cubeto de disposición final.....	138
4.1.1 Construcción de niveles	140
4.1.2 Construcción de celdas.....	140
4.1.3 Impermeabilización y drenaje	141
4.2 Captación y conducción de gases.....	142

4.3 Drenaje Lixiviados	144
4.4 Diseño de obras de drenaje aguas lluvias.....	145
5 Capítulo MANUAL DE OPERACIÓN DEL RELLENO	146
6 Capítulo CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	173
6.1 Conclusiones:	173
6.2 Recomendaciones.....	176
6.3 Bibliografía.....	178

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Peso específicos de los residuos sólidos doméstico</i>	25
Tabla 2 <i>Datos Típicos sobre Contenido de humedad de residuos sólidos urbanos</i>	27
Tabla 3 <i>Análisis elemental de los residuos sólidos</i>	30
Tabla 4 <i>Clasificación de subproductos de acuerdo a las zonificación</i>	49
Tabla 5 <i>Constituyentes típicos encontrados en el gas de vertedero</i>	58
Tabla 6 <i>Constituyente orgánicos rápidamente y lentamente biodegradable</i>	62
Tabla 7 <i>Método de cálculo de escorrentía Prevert</i>	71
Tabla 8 <i>Estaciones Climáticas</i>	84
Tabla 9 <i>Ubicación de Estaciones Meteorológicas</i>	85
Tabla 10 <i>Precipitación Media Mensual (mm) de estaciones meteorológicas</i>	85
Tabla 11 <i>Temperatura media mensual y anual (°C)</i>	88
Tabla 12 <i>Población en el área urbana y rural por sexo</i>	90
Tabla 13 <i>Situación de los Servicios Básicos (desechos), según área rural y urbana</i>	91
Tabla 14 <i>Proyección Población urbana y rural 2019-2029</i>	92
Tabla 15 <i>Resumen de categorías de usuarios por recolección desechos</i>	94
Tabla 16 <i>Número de muestras residencial (urbano y rural) por distribución de parroquia</i>	96
Tabla 17 <i>Número de muestras comercial por distribución de parroquia</i>	97
Tabla 18 <i>Clasificación de las actividades industriales en el Cantón</i>	99
Tabla 19 <i>Ejemplo tabulación de datos categoría residencial urbano</i>	101
Tabla 20 <i>Datos estadísticos de la tabulación de la ppc. residencial urbano</i>	102
Tabla 21 <i>Valores generados de ppc urbano y ordenandos de forma ascendente</i>	103

Tabla 22 <i>Recálculo eliminando las muestras sospechosas</i>	103
Tabla 23 <i>Generación per cápita residencial, comercio e industria</i>	104
Tabla 24 <i>Composición física de desechos categoría residencial</i>	108
Tabla 25 <i>Composición física de desechos categoría comercial</i>	110
Tabla 26 <i>Composición física de desechos categoría industrial</i>	111
Tabla 27 <i>Resumen de Peso Volumétrico de las diferentes categorías</i>	113
Tabla 28 <i>Generación total (ton/día) en el cantón Pedro Moncayo</i>	114
Tabla 29 <i>Volumen de disposición final 2019-2029</i>	116
Tabla 30 <i>Resumen de parámetros relleno, celda diaria tipo 2019 y cobertura de celda</i>	117

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Mapa base de la ubicación del proyecto	21
<i>Figura 2</i> Relación entre el tipo de suelo, el coeficiente de permeabilidad.....	43
<i>Figura 3</i> Esquema celda tipo	55
<i>Figura 4</i> Fases en la generación de gases en el vertedero	60
<i>Figura 5</i> Modelo triangular, residuos rápidamente biodegradable.....	63
<i>Figura 6</i> Modelo triangular residuos lentamente biodegradable.....	63
<i>Figura 7</i> Balance de lixiviados en un vertedero	65
<i>Figura 8</i> Levantamiento Topográfico predio Relleno Sanitario	74
<i>Figura 9</i> Litología característica del área de estudio. (19m).....	75
<i>Figura 10</i> Superficie de Meseta volcánica (Smv)	79
<i>Figura 11</i> Precipitación media mensual (mm) de las estaciones meteorológicas.	86
<i>Figura 12</i> Mapa de isoyetas Cantón Pedro Moncayo.....	87
<i>Figura 13</i> Temperatura media mensual.....	88
<i>Figura 14</i> Mapa Hidrológico Relleno Sanitario.	89
<i>Figura 15</i> Levantamiento de información-muestra residencial.....	96
<i>Figura 16</i> Levantamiento de Información –muestra residencial.....	98
<i>Figura 17</i> Pesaje de muestras	100
<i>Figura 18</i> Distribución de muestras residencial urbano	102
<i>Figura 19</i> Método del cuarteo de la muestra.....	106
<i>Figura 20</i> Aplicación del método de cuarteo	107
<i>Figura 21</i> Composición física residencial residuos urbanos	109

Figura 22 Composición física residencial residuos urbanos	110
Figura 23 Composición física residuo comercial.....	111
Figura 24 Composición física residuos industriales.....	112
Figura 25 Producción de gas (m ³ /año) a partir de residuos	127
Figura 26 Implantación total del área para el proyecto diseño de Relleno Sanitario.....	137
Figura 27 Configuración de la inclinación del talud 0.50H:1,0V	139
Figura 28 Celda tipo 2019.....	141
Figura 29 Celda tipo 2029	141
Figura 30 Detalle de chimeneas	142
Figura 31 Detalle conclusión de chimenea	143
Figura 32 Sistema de Recolección de Lixiviados.	144

RESUMEN

Las estadísticas demográficas y la problemática ambiental derivada por la disposición inadecuada de los desechos sólidos en el país, ha hecho que las autoridades establezcan normas que controlen y obliguen a los Gobiernos seccionales a tomar las medidas necesarias para establecer un sistema adecuado de gestión de residuos sólidos en cada cantón. Bajo estos antecedentes el siguiente proyecto de tesis realizó el diseño definitivo de todas las etapas constructivas del Relleno Sanitario del cantón Pedro Moncayo de acuerdo a datos obtenidos en campo, ensayos de laboratorio y revisión de literatura. Se consideró un incremento del 1% de la producción per cápita, la generación de residuos para el año 2019 es 15,44 toneladas/día y para la finalización del período de diseño, año 2029 es 21,36 toneladas/día, tomando en cuenta una densidad de compactación de 500 kg/m³, el volumen de residuos acumulado en disposición final para los 10 años de vida útil es de 146591,14 m³ (sin cobertura). El área requerida para la utilización del relleno sanitario es de 1,16 ha. La producción de biogás corresponde a 0,41 m³/kg RSU, esta es la cantidad de gas que se puede producir en condiciones óptimas. La producción de lixiviados generados en la disposición de residuos sólidos es de 1,23m³/día para el año 2019, considerando la aportación de agua por las características del lugar de emplazamiento.

PALABRAS CLAVE:

- RESIDUOS SÓLIDOS
- DISPOSICIÓN FINAL
- RELLENO SANITARIO
- LIXIVIADOS

ABSTRACT

The demographic statistics and the environmental problems derived from the inadequate disposal of solid waste in the country have caused the authorities to establish norms that control and oblige the sectional governments to take the necessary measures to establish an adequate solid waste management system in each district. Under this background, the following thesis project carried out the final design of all the construction stages of the Landfill in the Pedro Moncayo according to data obtained in the field, laboratory tests and literature review. It was considered an increase of 1% of the production per capita, the generation of waste for the year 2019 is 15.44 tons/day and for the end of the design period, year 2029 is 21.36 tons/day, taking into account a density of compaction of 500 kg / m³, the volume of waste accumulated in final disposal for 10 years of useful life is 146591,14 m³ (without coverage). The area required for the utilization of the sanitary landfill is 1.16 ha. The production of biogas is 0.41 m³/kg RSU, this is the amount of gas that can be produced under optimal conditions. The production of leachates generated in the disposal of solid waste is 1.23m³ / day for the year 2019, considering the contribution of water due to the characteristics of the location.

KEYWORDS:

- SOLID WASTE
- FINAL DISPOSITION
- LANDFILL
- LEACHING

1 Capítulo: ASPECTOS GENERALES

1.1 Antecedentes

Pedro Moncayo es un cantón de la provincia de Pichincha, su estructura política es: cabecera cantonal Tabacundo, sus parroquias rurales La Esperanza, Tocachi, Malchinguí y Tupigachi (Sáenz, Aguirre y Verdesoto, 2013). De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón de Pedro Moncayo, actualización 2015; en el cantón existe un alto porcentaje de necesidades básicas insatisfechas (cobertura de agua entubada, alcantarillado, energía eléctrica y medios de eliminación de desechos sólidos), tanto en las zonas urbanas consolidadas y como en las parroquias rurales (Chontasí, et al., 2015, pág 30).

En el año 2013 se genera un diagnóstico: “Gestión Integral de Residuos Sólidos en el Cantón Pedro Moncayo” en el marco de la convocatoria de la Unión Europea (Davila, 2013); en él se identifica las necesidades en la gestión municipal de los residuos sólidos; mediante el IG (Índice de gestión), con un puntaje de 6,17/10, mostrando graves falencias en todos los ámbitos del servicio:

1. Deficiente equipamiento para el servicio: maquinaria y personal.
2. Inexistencia de Diseños definitivos de un proyecto para la disposición final de los residuos.
3. Malas condiciones del personal de recolección y barrido.
4. Servicio de residuos infecciosos no regulado.

5. Carencia de un relleno sanitario con tratamiento de lixiviados y gases.
6. Nula capacitación a nivel Institucional.
7. Ordenanzas desactualizadas.

El Cantón mantenía la operación de un vertedero a cielo abierto en la comunidad de Puruhantag por más de 20 años, el mismo que recibió una sanción administrativa por el Manejo inadecuado de desechos sólidos en el año 2012. La ubicación y operación de este sitio de disposición final ponía en riesgo la salud de los habitantes y la conservación del ambiente circundante al botadero. En el año 2014, el Municipio obtiene la Licencia Ambiental bajo resolución Nro. 13 para desarrollar el proyecto de construcción y operación del nuevo Relleno Sanitario Cantonal bajo la urgencia de cumplir con todos los requerimientos técnicos y legales y la disposición del Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente y en específico el Programa Nacional para la Gestión Integral de desechos Sólidos (PNGIDS) de realizar el cierre de los botaderos existentes en el país y que se disponga de un relleno técnicamente manejado.

Una vez que se tenía los permisos ambientales el GAD de Pedro Moncayo se mira en la necesidad de modificar los diseños existentes debido a que el proyecto inicial tenía una valoración de 2'000.000,00 presupuesto que corresponde aproximadamente al 22% del presupuesto total anual. En este marco se dispone a la Dirección de Obras Publicas y Gestión Ambiental para que se revise el estudio en la que se identifica que no obedece a las características del territorio, no consideró la realización de estudios preliminares (geológico, geotécnico, hidrológico, demográfico), no contiene información base como: cálculo de generación de lixiviados , gases y

determinación del per cápita rural; situación que ha ocasionado que se tenga un diseño sobredimensionado para demanda del territorio.

Es así que con la premura del realizar el cierre técnico del vertedero se realiza el dimensionamiento de etapa emergente del Relleno Sanitario con la infraestructura mínima necesaria para iniciar sus operaciones. Este diseño emergente hasta la actualidad se ha ido complementando sin una proyección acorde a la necesidad del territorio y tampoco dentro de una planificación constructiva (Catucuago, 2017).

Bajo estos antecedentes el siguiente proyecto de tesis plantea realizar el diseño definitivo de todas las etapas constructivas del Relleno Sanitario de Pedro Moncayo de acuerdo a datos obtenidos en campo, ensayos de laboratorio y revisión de literatura

1.2 Justificación.

Las estadísticas demográficas y la problemática ambiental derivada por la disposición inadecuada de los desechos sólidos en el país, ha hecho que las autoridades establezcan normas que controlen y obliguen a los Gobiernos seccionales a tomar las medidas necesarias para establecer un sistema adecuado de gestión de residuos sólidos en cada cantón. La Gestión Integral de los Desechos se deriva de un concepto del bienestar ciudadano en términos amigables con el ambiente y de ahí nace la necesidad de mantener una cultura de reducción, reciclaje y reutilización. La importancia y justificación del presente estudio es contribuir a la minimización del impacto ambiental generado por el mal manejo de los residuos sólidos urbanos en la disposición final y mejorar la calidad de vida de la población del cantón Pedro Moncayo

El acuerdo ministerial 061, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de legislación secundaria (2015), define: al relleno sanitario como una técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los desechos y/o residuos sólidos; consiste en disponerlos en celdas debidamente acondicionadas para ello y en un área del menor tamaño posible, sin causar perjuicio al ambiente, especialmente por contaminación a cuerpos de agua, suelos, atmósfera y sin causar molestia o peligro a la salud y seguridad pública. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los desechos y/o residuos, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, para luego cubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente y efectuando el control de los gases, lixiviados y la proliferación de vectores”. Su gestión implica planificación, diseño, construcción, operación, control y clausura y el desarrollo de cada fase compromete mantener condiciones con las se asegure la minimización de impactos ambientales sobre la salud pública. (pág. 7)

En el desarrollo de este proyecto de investigación se aborda los puntos críticos de la disposición de desechos sólidos no peligrosos del Cantón Pedro Moncayo como: a) caracterización físico-química de desechos, b) método de vertido sugerido c) dimensionamiento cubetos de acuerdo a las necesidades b) estimación y generación lixiviados con tratamiento, c) estimación y gestión de gases.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar el Relleno Sanitario del cantón Pedro Moncayo mediante la generación de estudios preliminares característicos del área de estudio, con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los habitantes del Cantón.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar la producción per cápita residencial (urbana y rural), comercial e industrial para proyectar la demanda de volumen para disposición final de desechos no peligrosos mediante la recolección y pesos de desechos de un muestreo aleatorio representativo en todo el cantón.
- Determinar la composición física de residuos sólidos del cantón Pedro Moncayo para posibles procesos de reciclaje y rehusó mediante el método de cuarteo aplicado a un muestreo aleatorio representativo en todo el cantón.
- Realizar estudios preliminares: topográfico, geológico y geomecanizado, suelo, climatológico, hidrológico y demográfico para dimensionar el relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo.
- Cuantificar el volumen de biogás y caudal lixiviados generados a partir de la disposición de residuos no peligrosos para el diseño de sistemas de extracción y tratamiento.

- Presentar las recomendaciones de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el buen funcionamiento del relleno sanitario a través de un manual de operaciones.

1.4 Localización y Área de Influencia.

El cantón Pedro Moncayo está ubicado al nororiente de la provincia de Pichincha a 51 km al norte de la ciudad de Quito. El cantón se encuentra la hoya de Guayllabamba, asentado en la vertiente sur del nudo de Mojanda-Cajas. Sus ríos forman parte de la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas; la altitud promedio del cantón varía entre los 1.700 hasta los 3.050 msnm. (Montoya & Erazo, 2013, pág. 8)

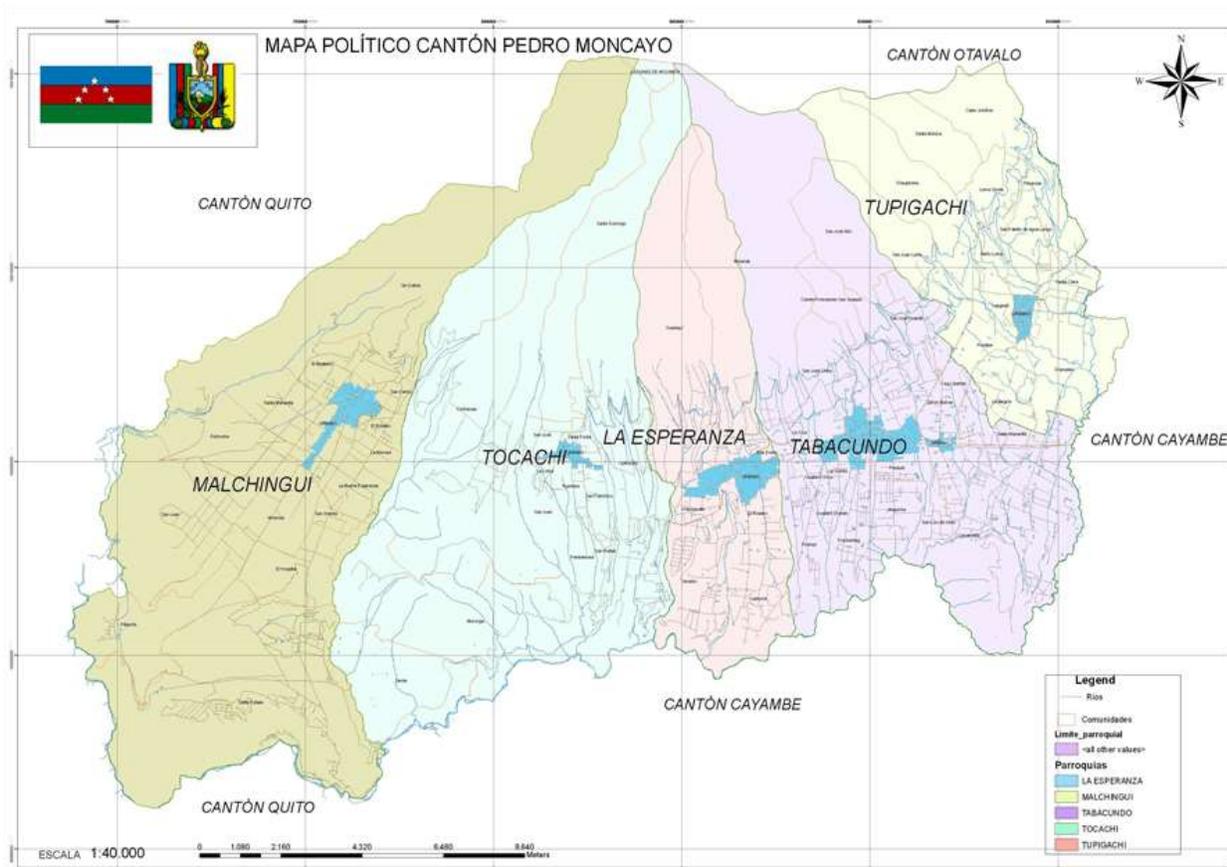


Figura 1 Mapa base de la ubicación del proyecto

2 Capítulo: MARCO TEÓRICO

2.1 Historia de los residuos sólidos.

Los residuos sólidos existen desde el inicio de la humanidad como un subproducto de sus actividades (Rodríguez, 2011). En la sociedad primitiva, el manejo de los mismos no se consideraba un problema relevante, ya que la población era reducida en comparación a la cantidad de área que ocupaba (Tchobanoglous et al., 1994). Desde que se formaron sociedades no-nómadas hace 10,000 AC, existió la producción de residuos sólidos con mayor intensidad (Worrel y Vesilind, 2012). Conforme la sociedad se fue congregando y formando comunidades, los residuos sólidos empezaron a constituir un problema social y de salud. Pestes, acumulación de residuos, presencia de roedores y plagas son parte de las consecuencias de un inadecuado manejo de los mismos (Tchobanoglous et al., 1994). La concentración de residuos en un solo lugar sin ninguna correcta disposición formaron los primeros botaderos a cielo abierto. Práctica que permanece hasta nuestros días y ha sido difícil de eliminar (Rodríguez, 2011).

La revolución industrial de Estados Unidos y Europa es parte del desarrollo científico, económico y tecnológico de la humanidad (Rodríguez, 2011; Tchobanoglous et al., 1994). Sin embargo, también influyeron en los hábitos de consumo de la sociedad que incrementó el consumo de productos desechables y de bajo valor. Por lo tanto, la evacuación de los residuos se convirtió en un problema de fondo que ha tenido soluciones parciales como la disposición de los mismos en quebradas, áreas rurales fuera de las ciudades y el mar (Rodríguez, 2011). Estas condiciones insalubres que se vivían en el siglo XX, impulsó la aprobación de instrumentos políticos como son el Acta de Sanidad de 1888 en Inglaterra, y el Acta de Harbors y Ríos de 1899 en Estados Unidos.

Estos dos instrumentos tenían como objetivo regular de una mejor manera la disposición de basura y escombros en cuerpos de agua así como los terrenos adyacentes (Tchobanoglous et al., 1994).

En 1906, se escribió uno de los primeros libros que trata sobre residuos sólidos desde una perspectiva ingenieril llamado ‘La Evacuación de Basuras Municipales’ por H. de B. Parsons. En este libro se muestran los métodos de disposición final a principios de siglo. En los que se indican el vertido de residuos en tierra y agua y otras prácticas comunes a este proceso como la incorporación de residuos al suelo, alimentación a cerdos, reducción de los mismos e incineración (Parsons, 1906; Tchobanoglous et al., 1994).

En las décadas de los 60’s y 70’s, los enfoques en ingeniería sanitaria permitieron generar iniciativas sobre el manejo de los residuos sólidos. El desarrollo tecnológico surgió como una alternativa para reducir la cantidad de residuos y mejorar la eficiencia de los servicios. De esta manera se inició la implementación de los rellenos sanitarios y el impulso de la propuesta 3Rs: reciclaje, reutilización y reducción de desechos. (Tchobanoglous et al., 1994).

Aunque en un inicio, la Gestión Integrada de Residuos Sólidos (GIRS) era definida en términos técnicos y de ingeniería en 1970. Conforme pasó el tiempo, desde 1990, el concepto ha dado un salto hacia el balance entre dimensiones ambientales, sociales y económicas que permitan el adecuado manejo de residuos sólidos de una forma más integral (Marshall y Farahbakhsh, 2013). La formulación de marcos normativos y legislativos lograron visibilizarse en la Cumbre de la Tierra en Río de 1992 (Guzmán et al., 2011). Principios como ‘el que contamina paga’ se afianzaron y complementaron con otros como ‘precio por unidad / pay as throw’ con el fin de reducir la

generación de residuos, incentivar el reciclaje y aplicar un tipo de pago en caso de que se genere el mismo (Guzmán et al., 2011; Halstead, 2007). Cuando la gestión de residuos sólidos finalmente empezó a incidir y tener aceptación en la sociedad. Los factores que han sido impulsores que influyen en este paradigma son: salud pública, ambiente, escases de recursos y participación (Marshall y Farahbakhsh, 2013).

2.2 Propiedades de los residuos sólidos

Las propiedades físicas, químicas y biológicas permiten entender la forma, composición y transformación de los residuos sólidos. Es una parte fundamental que debe considerarse en el desarrollo de sistemas de gestión integral de residuos sólidos (Tchobanoglous et al., 1994).

2.2.1 Propiedades físicas.

2.2.1.1 Peso específico

Según Jaramillo (2002): “El peso específico se define como el peso de un material por unidad de volumen (por ejemplo, kg/m³)” (pág. 30). Como el peso específico de los RSU frecuentemente se refiere a residuos sueltos, encontrados en los contenedores, no compactados, compactados, etc.,. Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados.

Esta propiedad se define como el peso que tiene un material por su unidad de volumen. El uso de esta propiedad en la gestión de residuos sólidos es para determinar la masa y/o volumen de los residuos y de esta forma gestionarlos. De acuerdo a la localización, condiciones meteorológicas,

compactación y almacenamiento estos valores pueden variar, por lo que es necesario validar la información de acuerdo a las características del entorno en el que se va a realizar la investigación (Tchobanoglous et al., 1994). “Los residuos sólidos urbanos, tal como se entregan por los vehículos de compactación, se ha comprobado que varían desde 178 kg/m³ hasta 415 kg/m³, con un valor típico de aproximadamente 300 kg/m³...” (Jaramillo, 2002, p. 30)

En la tabla 1, se muestran los pesos específicos de los residuos sólidos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

Tabla 1
Peso específicos de los residuos sólidos domésticos

Tipo de residuo	Peso específico (kg/m ³)	
	Rango	Típico
<i>Domésticos</i>		
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plástico	42-131	65
Textiles	42-10	65
Cuero	101-261	160
Madera	131-320	237
Vidrio	160-481	196
Residuos de comida	131-481	291
Residuos de jardín	59-225	101
<i>Urbanos</i>		
Camión compactador	178-451	297
<i>Vertedero / Relleno Sanitario</i>		
Compactados	590-742	600
Parcialmente Compactados	362-498	451
<i>Comerciales</i>		
Residuos de comida	475-950	540
Podas de árboles	101-160	110
Aparatos	148-202	181

CONTINÚA

Construcción y demolición

Demolición mezclado	1000-1600	1421
Hormigón roto	1198-1800	1540

Industriales

Fangos químicos	801-1101	100
Residuos textiles	101-220	181
Madera	400-676	498
Chatarra metálica (mezclada)	1501-2000	1780

Agrícolas

Residuos agrícolas mezclados	400-751	561
Animales muertos	202-498	359
Residuos vegetales	202-700	359
Estiércol húmedo	899-1050	1000

Fuente: Adaptación Tchobanoglous et al., 1994

2.2.1.2 Contenido de Humedad

El contenido de humedad de los residuos se puede medir en porcentaje peso-húmedo y peso seco. Para la mayoría de los RSU, el contenido de humedad variará entre el 15 y el 40%, según la composición de los residuos, la estación del año y las condiciones de humedad y meteorológicas; particularmente de la lluvia (Carrera, 2015).

El porcentaje peso-húmedo se expresa de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$M = \frac{w - d}{w} * 100 \quad (1)$$

M: Porcentaje de humedad (%)

w: Peso inicial de la muestra (kg)

d: Peso de la muestra después de secarse a 105°C(kg) Fuente: Tchobanoglous et al., 1994

En la Tabla 2 se puede observar el contenido de humedad en peso seco de los residuos sólidos en base a un peso inicial muestra de 100 kg.

Tabla 2*Datos Típicos sobre Contenido de humedad de residuos sólidos urbanos*

Tipo de residuo	Contenido de humedad, % en peso	
	Rango	Típico
Domésticos		
Papel	4-10	6
Cartón	4-8	5
Plástico	1-4	2
Textiles	6-15	10
Cuero	8-12	10
Madera	15-40	20
Vidrio	1-4	2
Residuos de comida	50-80	70
Residuos de jardín	30-80	60
Urbanos		
Camión compactador	15-40	20
Vertedero / Relleno Sanitario		
Compactados	15-40	25
Parcialmente Compactados	15-40	25
Comerciales		
Residuos de comida	50-80	70
Podas de árboles	10-30	20
Aparatos	0-2	1
Construcción y demolición		
Demolición mezclado (no combustible)	2-10	4
Hormigón roto	0-5	--
Industriales		
Fangos químicos	75-99	80
Residuos textiles	6-15	10
Madera	30-60	25
Chatarra metálica (mezclada)	0-5	--
Agrícolas		
Residuos agrícolas mezclados	40-80	50
Animales muertos	--	--
Residuos vegetales	60-90	75
Estiercol húmedo	75-96	94

Fuente: Adaptación Tchobanoglous et al., 1994

Según Cano (2016), hay que tomar en cuenta que la humedad contenida en los RSU es fundamental al momento de tratamientos para su gestión, ya que puede llegar a constituir una problemática en cuanto al manejo inadecuado de los mismos, debido a que está relacionada con la contaminación tanto atmosférica como del suelo, y las aguas superficiales y subterráneas.

2.2.1.3 Capacidad de campo

La cantidad de humedad que puede retener los residuos sólidos sometidos a la acción de gravedad es conocida como capacidad de campo (Tchobanoglous et al., 1994). La presión ejercida y el grado de descomposición de los residuos sólidos inciden en la medición de esta propiedad. La capacidad de campo de los residuos es de una importancia crítica para determinar la formación de lixiviados en los vertederos. El exceso de agua sobre la capacidad de campo se emitirá en forma de lixiviado. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicada y el estado de descomposición del residuo. Según Jaramillo (2002), la capacidad de campo de los residuos no seleccionados y no compactados de orígenes domésticos y comerciales está en la escala del 50 al 60%.

2.2.2 Propiedades químicas

De acuerdo a Tchobanoglous et al. (1994), las propiedades químicas más importantes de los residuos sólidos son:

- Análisis físico
- Análisis elemental
- Contenido energético
- Punto de fusión de cenizas

2.2.1.1 Análisis físico

Los ensayos que constituyen el análisis físico de los residuos sólidos para materiales combustibles son: 1) Humedad, 2) Material volátil, 3) Carbono fijo y 4) Ceniza .

Para la humedad se mide la pérdida de la misma cuando los residuos sólidos se calientan a 105° C por el tiempo de una hora. Posteriormente, se mide la materia volátil que es la pérdida de peso de un crisol cubierto sometido a una ignición de 950°C. El carbono fijo es la diferencia de lo que queda en el crisol una vez se realiza el ensayo de masa de volátiles y la ceniza para el total de masa del sólido húmedo y seco. Al final, la ceniza es resultado de la medición del peso del rechazo después de la incineración de un crisol abierto (Serret et al., 2016; Tchobanoglous et al., 1994).

$$V = \frac{m_s - m_{nv}}{m_s} * 100$$

$$CF = \frac{m_{nv} - m_{cen}}{m_s} * 100$$

$$Cen = \frac{m_{cen}}{m_s} * 100 \quad (2)$$

Donde,

V: Porcentaje de volátiles (%)

CF: Porcentaje de carbono fijo (%)

Cen: Porcentaje de cenizas (%)

m_s: masa de sólido húmedo y seco (g)

m_{nv}: masa de no volátiles (g)

m_{cen}: masa de cenizas (g)

Fuente: Serret et al., 2016

2.2.1.2 Análisis elemental

El análisis elemental constituye la medición del porcentaje de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S). Las propiedades químicas tienden a ser muy variables como las propiedades físicas (Ver Tabla 3) (Carrera, 2015; Tchobanoglous et al., 1994). Tal análisis es importante debido tanto al aspecto energético, como la preocupación con la emisión de compuestos clorados durante la incineración (Poletto y Celso, 2009, pág. 109).

El análisis elemental se utiliza para establecer la composición química de los Residuos Sólidos Urbano para determinar la mezcla correcta de materiales para los procesos de conversión biológica. Además sirve para evaluar opciones de procesamiento y recuperación de residuos (Rollandi, 2006).

Tabla 3
Análisis elemental de los residuos sólidos

Tipo de residuo	Porcentaje en peso (base seca)					
	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
<i>Domésticos</i>						
Papel mezclado	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6
Cartón	43.0	5.9	44.8	0.3	0.2	5
Plástico mezclado	60.0	7.2	22.8	-	-	10
Textiles	48.0	6.4	40	2.2	0.2	3.2
Cuero	60.0	8	11.6	10	0.4	10
Madera mezclada	49.5	6	42.7	0.2	<0.1	1.5
Vidrio	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
Residuos de comida	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5
Residuos de jardín	47.8	6	42.7	0.2	0.1	1.5
<i>Industriales</i>						
Madera	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	98.9
Chatarra metálica (mezclada)	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5

Fuente: Adaptación Tchobanoglous et al., 1994

2.2.3 Propiedades biológicas

La mayoría de los residuos sólidos tienen una fracción de materia orgánica que normalmente se convierte en gases y sólidos (Jaramillo et al., 2008). Los componentes de esta fracción orgánica son:

- Productos solubles como los azúcares, féculas aminoácidos y ácidos orgánicos
- Hemicelulosa
- Celulosa
- Grasas y aceites
- Ceras
- Lignina
- Lignocelulosa
- Proteínas

2.3 Definición Relleno Sanitario.

El relleno sanitario es considerado como una técnica de ingeniería para la adecuada disposición final de los desechos y/o residuos sólidos en el suelo (Jaramillo, 2002; Ministerio del Ambiente, 2015). Esta técnica utiliza celdas acondicionadas y compactadas en el menor espacio posible con el fin de evitar la contaminación y perjuicio al medio ambiente. Además, las celdas se cubren con material natural o artificial para evitar el deterioro de cuerpos de agua, aire y suelo utilizando técnicas que evitan la producción de líquidos y gases al ambiente y reduciendo riesgos para la salud (Jaramillo, 2002; Ministerio del Ambiente, 2015).

2.4 Tipos de Relleno

Por lo general se conocen tres tipos de rellenos sanitarios:

a) Relleno sanitario manual

Este tipo de relleno sanitario se lo utiliza en poblaciones que producen alrededor de 15 toneladas por día y sus recursos económicos no son lo suficientemente altos para cubrir los costos de operación y mantenimiento del relleno sanitario. Las actividades de compactación y almacenamiento de residuos sólidos se lo hacen con una cuadrilla de hombres y el uso de herramientas manuales (Jaramillo 2002).

b) Relleno sanitario semi-mecanizado

Normalmente este tipo de rellenos sanitarios se utiliza para comunidades con una población de aproximadamente 80.000 habitantes que produce entre 16 a 40 toneladas por día. Con el fin de garantizar un adecuado funcionamiento del relleno sanitario es necesario tener la cuadrilla de hombre y maquinaria pesada para la compactación, movimiento de tierra y trabajos varios que garantizará una mayor vida útil del relleno. Un tractor facilita la recolección de 6 a 8 toneladas de desecho, los mismos que necesitarán volteo hidráulico y compactación, dependiendo el lugar y las necesidades de la comunidad (Jaramillo 2002).

c) Relleno sanitario mecanizado

Las ciudades grandes que sobrepasan la producción de 40 toneladas por día requieren tener un relleno sanitario mecanizado que requiere un alto nivel de ingeniería, operación y planificación para determinar de la mejor forma el diseño, espacio, infraestructura e implementación. Así como los procesos de cierre y abandono en caso se requiera cerrarlo. El uso de equipo especializado es

un importante factor a considerar en este tipo de rellenos sanitarios (i.e. oruga, tractor, volquetas etc). (Jaramillo 2002).

2.5 Métodos de vertido.

Según Tchobanoglous et al. (1994), “los principales métodos de vertido de Residuos Sólidos Urbanos son: 1) zanja/celda, 2) zona/área y 3) vaguada o depresión” (pág. 421).

Método celda/zanja excavada: El método de vertido celda/zanja excavada es idóneo para zonas donde se dispone de una profundidad adecuada de material de cubrición y donde el nivel freático no se encuentran cerca de la superficie. Normalmente, se colocan los residuos sólidos en celdas o zanjas excavadas en el suelo. La tierra excavada se utiliza como material para la cubrición diaria o final. Usualmente, las celdas o zanjas excavadas se revisten con geomembrana sintética o arcilla de baja permeabilidad, o una combinación de las dos para limitar el movimiento de los gases del vertedero y de la lixiviación. (Tchobanoglous et al, 1994, pág. 421)

Método de zona/área: El método en zona o área se utiliza cuando el terreno es inapropiado para la excavación de celda o zanjas donde coloca los residuos sólidos. Las condiciones de alto nivel freático que se producen en muchos lugares precisan del uso de vertederos de tipo zona. El material de cobertura tiene que llevarse desde terrenos adyacentes. (Tchobanoglous et al., 1994, pág. 423)

Método de vaguada/depresión: se han utilizado vaguadas, barrancos y fosas de relleno suplementario, y canteras como zonas de vertido. Las técnicas para colocar y compactar residuos en vertederos de vaguada/depresión varían según la geometría del lugar, las características del material de cubrición disponible, la hidrología y geología del lugar, los tipos de instalaciones para el control del gas y del lixiviados que van a utilizarse y el acceso al lugar. (Tchobanoglous et al., 1994, pág. 423)

2.6 Normativa ecuatoriana vigente referente rellenos sanitarios

Las normativas que se relaciona con la gestión de los residuos sólidos son:

- Constitución de la República del Ecuador, 2008.
- Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización, Registro Oficial Suplemento 303 del 19 de octubre 2010.
- Código Orgánico Ambiental, Registro Oficial Suplemento 983 del 12 abril 2017.
- Acuerdo No. 61, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Edición especial No. 316. Registro Oficial, lunes 4 de mayo del 2015.
- Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos. Libro 6, Anexo 6.

2.7 Diseño de Relleno Sanitarios

El diseño básico debe incluir en lo posible la delimitación del área total del sitio y del terreno a ser rellenado sucesivamente, indicando el método constructivo, el origen de la tierra de cobertura

y la disposición de las obras de infraestructura. Es necesario además presentar las memorias de cálculo la vida útil, el uso futuro y el costo global estimado del proyecto (Jaramillo, 2002)

2.7.1 Restricciones

Existen factores importantes al escoger lugar de emplazamiento para relleno, entre ellos podemos citar los descritos en el Desarrollo Técnico del Real Decreto 1481/2001, Según la Subdirección General de Calidad Ambiental (2003); existen categorías de restricción que hacen incompatible la ubicación de un vertedero o relleno sanitario:

- a) **Áreas inestables:** Zonas donde se hayan identificado evidencias (cartográficas, históricas, mediciones o reconocimientos técnicos), que indiquen la existencia de un peligro significativo asociado a procesos de deslizamiento, movimientos de tierras, movimientos en masa o caída de bloques que afecten a los terrenos en los que se pretenda ubicar el vertedero. Respecto a aquellas zonas en las que existan procesos de deslizamiento, movimientos de tierras, movimientos en masa o caída de bloques, se establecerá una zona de separación de 100m entre el límite periférico de las instalaciones de vertido.

- b) **Áreas volcánicas:** No podrán ubicarse el vertedero sobre o en el interior de calderas volcánicas, conos volcánicos o cráteres activos o en aquellos inactivos que por su estado de conservación y singularidad constituyan un elemento de interés cultural catalogado, protegido o en trámite de protección. Estará restringida la ubicación en aquellas localizaciones en las que la identificación de evidencias (cartográficas, históricas, mediciones o reconocimientos técnicos) indiquen la existencia de un peligro significativo

por procesos de erupción (desplazamiento de lava, recorrido de coladas, etc.) que supongan un potencial daño al vertedero incompatible, total o parcialmente, con su integridad, seguridad y estabilidad. Respecto a la calificación del riesgo volcánico se deberá tener en cuenta las evidencias que consideren, como mínimo, los procesos activos de los últimos 500 años.

- c) Aguas superficiales continentales y zonas costeras: En el caso de vertederos de residuos no peligrosos y de residuos peligrosos, no se podrán ubicar vertederos en zonas con riesgo de inundación (delimitado por evidencias de cálculo, registros históricos o registros geológicos sedimentarios) por las aguas para la avenida correspondiente a un período de retorno de 100 años. También se prohíbe la ubicación de vertederos de residuos no peligrosos o residuos peligrosos en zonas ocupadas por el primer nivel de terrazas activas asociadas a sistemas fluviales cuando se establezca que están relacionadas con la avenida correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

- d) Aguas continentales subterráneas y acuíferos: La distancia vertical existente entre la cota mínima del fondo de excavación o de apoyo del sistema de impermeabilización artificial y el nivel freático medio, será superior a 5 m para vertederos de residuos peligrosos y superior a 2 m para vertederos de residuos no peligrosos y de residuos inertes. En cualquier caso el nivel freático en un periodo húmedo no podrá alcanzar la cota mínima del fondo de excavación del vaso de vertido o de apoyo del sistema de impermeabilización artificial.

- e) Zonas húmedas (humedales): Para aquellos humedales recogidos en los inventarios, la ubicación de un vertedero deberá cumplir el mantenimiento de las siguientes distancias tomadas con respecto al perímetro declarado para la protección del humedal, o al perímetro del humedal recogido en el inventario cuando no exista figura de protección:

INERTES	Distancia igual o superior a 500 m
NO PELIGROSOS	Distancia igual o superior a 1.000 m
PELIGROSOS	Distancia igual o superior a 2.000 m

2.7.2 Limitaciones

Acorde lo detallado por la Subdirección General de Calidad Ambiental (2003); los elementos que condicionan y limitan la ubicación de un vertedero o relleno sanitario son:

- a) Sísmicidad: Los Vertederos de No Peligrosos: como de “normal importancia” cuando estén incluidos en términos municipales con aceleración sísmica básica igual o inferior a 0,08 g. En el resto de los casos se considerarán de “especial importancia”
- b) Geotécnica: En el caso de determinarse la evidencia de fallas neotectónicas con desplazamientos en las proximidades de la ubicación del vertedero (a menos de 100 m del perímetro de la instalación) se justificará la ausencia de riesgos de inestabilidad.
- c) Áreas inestables: Serán objeto de estudio aquellas zonas en las que se evidencie (mediante reconocimientos, cartografía o registros históricos) la existencia de procesos de inestabilidad natural o provocada por la acción humana.

Entre los fenómenos de inestabilidad que deben estudiarse se incluirán:

- Las áreas con suelos compresibles.
- Los materiales con capacidad de hinchamiento, fenómenos de lavado, arrastre de finos o sifonamientos.
- Las áreas con suelos con baja resistencia o que son susceptibles de movimientos en masa.
- Suelos arcillosos que tienden a cambiar de volumen por ciclos de hidratación – deshidratación.
- Suelos sujetos a subsidencias como arcillas no consolidadas, aluviales saturados y zonas de humedales en general.
- Laderas sujetas a movimientos en masa del tipo de avalanchas, deslizamientos circulares o sobre superficies preferentes.

d) **Áreas inundables:** Los vertederos de residuos inertes no podrán ubicarse en zonas que supongan una modificación significativa de las condiciones de inundabilidad. Al objeto de identificar esta circunstancia limitante cuando se plantee su ubicación en terrenos de la franja entre el límite del Dominio Público Hidráulico y el límite de la zona de inundación de período de retorno de 100 años, se comprobarán que se cumple que el vertedero no entorpecerá el flujo de avenida.

2.7.2 Requisitos mínimos

De acuerdo al Ministerio de Ambiente (2012), todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos para rellenos sanitarios mecanizados:

El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 Km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.

No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc).

El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima.

Para la ubicación del relleno no deben escogerse zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc, que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.

El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m.

Tampoco se deben utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc).

El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos.

El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción.

La permeabilidad de los suelos deberá ser igual o menor que 1×10^{-7} cm/seg; si es mayor se deberá usar otras alternativas impermeabilizantes.

Se deberá estimar un tiempo de vida útil del relleno sanitario de por lo menos 10 años.

El relleno sanitario deberá poseer: cerramiento adecuado, rótulos y avisos que lo identifiquen en cuanto a las actividades que en él se desarrollan, como entrada y salida de vehículos, horarios de operación o funcionamiento, medidas de prevención para casos de accidentes y emergencias, además se deben indicar la prohibición de acceso a personas distintas a las comprometidas en las actividades que allí se realicen.

El relleno sanitario debe contar con los servicios mínimos de: suministro de agua, energía eléctrica, línea telefónica, sistema de drenaje para evacuación de sus desechos líquidos, de acuerdo con la complejidad de las actividades realizadas.

El relleno sanitario debe contar con programas y sistemas para prevención y control de accidentes e incendios, como también para atención de primeros auxilios y cumplir con las disposiciones reglamentarias que en materia de salud ocupacional, higiene y seguridad industrial establezca el Ministerio de Salud Pública y demás organismos competentes.

El relleno sanitario debe contar con servicios higiénicos apropiados para uso del personal.

Se debe mantener un registro diario, disponible para la Entidad Ambiental de Control, en lo relacionado con cantidad, volúmenes y peso de desechos sólidos. El análisis de la composición física y química de los desechos sólidos se realizará anualmente.

Debe mantenerse en el relleno sanitario las condiciones necesarias para evitar la proliferación de vectores y otros animales que afecten la salud humana o la estética del entorno.

Se debe ejercer el control sobre el esparcimiento de los desechos sólidos, partículas, polvo y otros materiales que por acción del viento puedan ser transportados a los alrededores del sitio de disposición final.

Se debe controlar mediante la caracterización y tratamiento adecuado los líquidos percolados que se originen por descomposición de los desechos sólidos y que pueden llegar a cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Los desechos sólidos no peligrosos deben ser colocados y cubiertos adecuadamente.

Para la captación y evacuación de los gases generados al interior del relleno sanitario se deben diseñar chimeneas de material granular, las mismas que se conformarán verticalmente elevándose a medida que avanza el relleno.

Todo relleno sanitario debe disponer de una cuneta o canal perimetral que intercepte y desvíe fuera del mismo las aguas lluvias.

Durante la operación del relleno sanitario, los desechos sólidos deben ser esparcidos y compactados simultáneamente en capas que no excedan de una profundidad de 0,60 m.

El relleno sanitario en operación debe ser inspeccionado regularmente por la entidad ambiental de control correspondiente, dictándose las medidas que se crea adecuadas para corregir cualquier defecto que se compruebe en las técnicas con las que se opera en el relleno sanitario.

2.8 Características del lugar de emplazamiento

Es preferible que el relleno se ubique en un lugar lejano a poblaciones cercanas, con una distancia mínima de 1 km. El transporte es un factor determinante en los costos de operación, por lo cual se recomienda que el relleno se ubique cerca al centro urbano respetando los parámetros determinados en la norma nacional (Eguizabal et al., 2009).

Según Fernández (2010) las características del lugar de emplazamiento:

Tipo de suelo: Un relleno sanitario debe estar localizado de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son adecuados los limo-arcillosos (franco-limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (francoarenosos) porque son muy permeables.

Permeabilidad del suelo: Es la mayor o menor facilidad con que la percolación del agua ocurre a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la mayor o menor dificultad con que un suelo resiste a la percolación del agua a través de sus poros, en otras palabras, es la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo sanitario Coeficiente de Permeabilidad k (cm/s) (Escala logarítmica).

k (cm/s)	10^2	10^1	10	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
Drenaje	Bueno						Malo		Prácticamente impermeable.			
Relleno Sanitario	Pésimo									Bueno		
Tipo de suelo	Grava gruesa(cascajo)		Arena limpia, Arena mezclada con grava		Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla				Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización			
			Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización									

Figura 2 Relación entre el tipo de suelo, el coeficiente de permeabilidad.

Fuente: Jaramillo, 2012

Profundidad del nivel freático: Tiene que ver con la profundidad de las aguas o la altura dominante del nivel freático. Se deberán preferir los terrenos bien drenados y con el nivel de aguas a más de un metro de profundidad durante todo el año. Los terrenos pobremente drenados o sea aquellos que se mantienen la mayor parte del año por debajo de un metro se deben drenar de manera artificial. En estos casos es mejor descartarlos, sobre todo los que permanecen inundados durante largos periodos.

Disponibilidad del material de cobertura: Los terrenos planos, que cuentan con un suelo limo-arcilloso y el nivel freático a una profundidad tal que no haya posibilidad de contaminar las aguas subterráneas por la disposición de residuos, pueden ofrecer una buena cantidad de material de cobertura, en especial si se decide usar el relleno en zanjas. Por el contrario, si el terreno tiene un suelo arenoso o si el nivel freático está a poca profundidad (a menos de un metro), primero se tendrá que impermeabilizar el terreno y luego, acarrear el material de cobertura desde otro sitio, lo que elevará enormemente los costos, de ahí que sería preferible descartarlo. Las hondonadas o los terrenos ondulados pueden brindar buenas posibilidades de material de cobertura, al nivelar el terreno y hacer los cortes en las laderas de las depresiones.

2.8.1 Condiciones Climatológicas

Según Jaramillo (2002) la precipitación pluvial, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento son los principales datos climatológicos que se deben recopilar para establecer las especificaciones de diseño de la infraestructura del relleno sanitario y tener un mejor conocimiento de las condiciones a las que estará sometida la obra en general. (pág. 39)

2.8.2 Condiciones Hidrogeológicas

Según Jaramillo (2002) Es necesario observar la existencia de nacimientos de agua en el terreno que habrá que drenar bajando su nivel, es necesario evaluar la profundidad del manto freático o aguas subterráneas, dado que es necesario mantener por lo menos una distancia de 1 a 2 metros entre éstas y los desechos sólidos. (pág. 42)

2.8.3 Condiciones Geológicas

Los suelos sedimentarios con características areno - arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce sustancialmente. Además este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta. Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas (Eguizabal, s.f., pág. 30).

2.8.4 Condiciones Topográficas

Según Jaramillo (2002), se debe realizar el levantamiento topográfico con todos los detalles, en escala 1:250-1:500, con curvas de nivel c/m y acotadas $c/5$ m, para elaborar los cálculos y el diseño definitivo del relleno sanitario.

2.8.5 Aspectos demográficos

En relación al aspecto demográfico es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de desechos sólidos que se va de disponer. Es importante diferenciar entre la producción de desechos sólidos rural y la urbana. La primera, debido a la baja producción,

presentará menos exigencias, pero su recolección resulta más difícil. En cambio, la producción urbana es más notoria por razones de concentración, aumento de población, y desarrollo tecnológico y urbanístico (Fernández, 2010, pág. 20)

2.8.5.1 Población:

“Es necesario conocer el número de habitantes a servir para definir las cantidades de desechos sólidos que se han de disponer. Es de anotar que la producción de desechos sólidos se debe discriminar entre la producción rural y la urbana” (Jaramillo, 2002, pág. 67). Según Eguizabal, (s.f.), el crecimiento poblacional se puede determinar a través de métodos matemáticos. Un ejemplo de su aplicación se muestra a continuación como un crecimiento geométrico, según la fórmula siguiente:

$$P_f = P_o (1 + r)^n \quad (3)$$

Donde:

P_f = Población futura (hab.)

P_o = Población actual (hab.)

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

Donde t = variable tiempo (en años)

2.8.6 Aspectos Generales desechos sólidos

2.8.6.1 Generación de residuos sólidos domésticos.

La generación de residuos sólidos domésticos depende también del desarrollo económico, nivel de ingreso de la población, actividades predominantes (industrial, agrícola, comercial, etc.), patrones de consumo, grado de urbanización y densidad poblacional, si bien los dos factores más relevantes para estimar la generación per-cápita de residuos sólidos domésticos, expresada en términos de kilogramos generados en promedio diariamente por cada habitante (kg/hab/día), son el nivel de ingresos de la población y el tamaño del conglomerado (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014)

En términos generales, es posible decir que en los países de la Región de América Latina la generación per-cápita de residuos sólidos urbanos en las ciudades con más de 5.000.000 habitantes es del orden de 1kg/hab./día, cifra que disminuye progresivamente en la medida que las ciudades consideradas son más pequeñas.

2.8.6.2 Producción per cápita

La generación de residuos sólidos municipales es uno de los elementos de la gestión integral de residuos sólidos municipales. Se refiere a la cantidad de residuos que un conjunto de personas agrupadas en familias, comunidades, ciudades, regiones y países se generan en un lapso de tiempo determinado. Uno de los parámetros que más se emplea es la cantidad de residuos que genera una persona en un día, a dicho parámetro se le conoce como generación por persona o per cápita. (Rodríguez, Toledo y Meraz, 2004)

Según Jaramillo (2002), con base en los muestreos de desechos sólidos realizados en algunas poblaciones pequeñas, rurales y áreas marginales en la Región Latinoamericana, sobre las características que se analizan en este trabajo, se ha encontrado que la ppc presenta rangos entre 0.2 - 0.5 kg/hab.-día. Estos valores son bastante representativos y se podrían asumir para la casi totalidad de estas poblaciones.

Según Castillo (2012), realizó un análisis de las metodologías utilizadas a nivel internacional para la determinación de la ppc con su respectiva valoración, en la que concluye que la metodología de Muestreo Directo es la de mayor puntuación considerando aspectos técnicos (nivel de tecnología necesaria, nivel de información requerida, tiempo requerido, facilidad de acceso a la información, utilidad de resultados, adaptabilidad a la realidad nacional), aspectos económicos (costos) y aspectos sociales e institucionales (respuesta de las instituciones, confiabilidad de la información de los actores sociales). (pág. 5)

Muestreo Directo: consiste en el pesaje de los residuos sólidos en la fuente generadora para lo cual es necesario determinar una muestra que sea representativa mediante un análisis estadístico, de tal manera que tenga una confiabilidad adecuada (Castillo, 2012, pág. 4).

2.8.6.3 Composición de Residuos

Para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos que produce un sector en especial (residencial, comercial e industrial, etc.), es necesario efectuar una caracterización por medio de un aforo. Con este procedimiento se podrá determinar el porcentaje de materia

orgánica, papel, vidrio, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, entre otras clases de residuos que se generan en un lugar determinado, y se obtendrán bases para proyectar el crecimiento de esos residuos en función del tiempo. De igual forma se podrá evaluar la composición física química y biológica de los residuos, la cual será el fundamento para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento, tratamiento y disposición final. (Montoya , 2012, pág 68).

La composición de productos se realizara bajo la siguiente clasificación:

Tabla 4

Clasificación de subproductos de acuerdo a las zonificación

Residencial	Comercial	Industrial
Orgánico	Orgánico	Orgánico
Papel	Papel	Papel
Cartón	Cartón	Cartón
Plástico rígido	Plástico rígido	Plástico rígido
Plástico suave	Plástico suave	Plástico suave
Madera	Madera	Madera
Vidrio	Vidrio	Vidrio
Chatarra	Chatarra	Chatarra
Aluminio	Aluminio	Aluminio
Electrónicos	Electrónicos	Electrónicos
Tetrapack	Tetrapack	Tetrapack
Metal	Pilas	Pilas
Pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias	Lámparas focos comunes/ahorradores	Lámparas focos comunes/ahorradores
Caucho	Textiles	Textiles
Textil	Caucho	Caucho
Lámparas focos comunes/ahorradores	Otros	Otros
Pilas		
Otros		

La fórmula para calcular el porcentaje de subproductos en una muestra es:

$$PS = \left(\frac{G_1}{Gt} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado

G_1 = Peso del subproducto considerado, Kg

G_t = Peso Total de la muestra (mínimo 50 Kg)

2.8.6.4 Proyección de la producción total

Para estimar la PPC futura se recomienda utilizar tasas de crecimiento anual entre 0,5-1%, de tal manera que las poblaciones pequeñas (nivel de complejidad bajo) tengan un bajo crecimiento y las grandes, con un nivel de complejidad alto, tiendan a 1% (Collazos, 2005, pág. 49). Según Jaramillo (2002), el conocimiento de la producción total de residuos permitira tomar desciones sobre la necesidad de área para el tratamiento y la disposición final. La producción de residuos sólidos estara dada por la relación:

$$Dsd = Pob \times ppc$$

(5)

Donde,

Dsd= Cantidad de RSU producidos por día (kg/día)

Pob= Población total

ppc= producción habitante día (kg/hab./día)

2.8.6.5 Densidad de los residuos sólidos

Según Fernández (2010), para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno se pueden estimar las siguientes densidades:

- Celda diaria: densidad de la basura recién compactada 400-500 kg/m³.
- Volumen del relleno: densidad de la basura estabilizada 500-600 kg/m³.

Estas densidades se alcanzan mediante la compactación homogénea y a medida que se estabiliza el relleno, incidiendo en la estabilidad y vida útil del sitio. El aumento de la densidad de los desechos sólidos en el relleno sanitario se logra, entre otras cosas por:

- El tránsito del vehículo recolector por encima de las celdas ya conformadas.
- El apisonado manual, mediante el uso periódico del rodillo y pisones de mano.
- La separación y recuperación de materiales tales como: papel, cartón, plástico, vidrio, chatarra y otros, dado que difícilmente se compactan.

Otros mecanismos que aumentan la densidad de los desechos sólidos son: el proceso de descomposición de la materia orgánica y el peso propio de las capas o celdas superiores que producen mayor carga y obviamente, disminuyen su volumen.

El peso volumétrico de los residuos sólidos es de gran importancia, ya que con este dato se determina el número de unidades para el transporte en función de la capacidad de estas, además sirve de base para proyectar las necesidades de espacio para el diseño de rellenos sanitarios (Esquinca et al., s.f.)

Para el cálculo del peso volumétrico se emplea la siguiente fórmula

$$S = \frac{W}{V} \quad (6)$$

Donde,

S = Densidad (kg/m³)

W = Peso de los residuos sólidos (kg)

V = Volumen de los residuos sólidos (m³)

2.8.6.6 Cálculo del volumen necesario

Según Jaramillo (2002), los requerimientos de espacio del relleno sanitario están en función de:

- La producción diaria de residuos sólidos, sí se espera tener una cobertura del 100% o, en su defecto, de la cantidad de residuos sólidos recolectados.
- La densidad de los residuos sólidos estabilizados en el relleno sanitario.
- La cantidad de material de cobertura (20-25%) del volumen estabilizado de residuos sólidos.

2.8.6.7 Volumen del Relleno Sanitario

La capacidad del sitio para recibir y disponer residuos es un criterio de especial relevancia al momento de seleccionar alternativas de localización. Si bien, un relleno sanitario no requiere grandes obras de infraestructura, su capacidad debe asegurar una vida útil que justifique la inversión en oficinas, cerco perimetral, obras de drenaje y, tratándose de ciudades medianas y grandes, balanza de pesaje. Salvo casos justificados en contrario, los rellenos sanitarios para ciudades medianas se proyectan con una vida útil de al menos 10 años y para grandes ciudades de 20 a 30 años. (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014, pág 33)

Para los efectos de prospectar posibles sitios alternativos donde localizar un relleno sanitario se puede estimar en forma muy preliminar la capacidad de relleno necesaria de acuerdo a la siguiente fórmula de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/CEPIS, 2002):

$$V_{\text{basura}} = \text{ppc} \times N \times 365 \times \frac{t}{\rho} \quad (7)$$

Donde,

V basura=Volumen de basura

ppc= Producción diaria de basura per cápita

N= Número de habitantes de una ciudad

t= Vida útil del relleno (años)

ρ = densidad de la basura (kg/m^3)

2.8.6.8 Calculo del área requerida

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS/CEPIS, 2002): Con el volumen se puede estimar el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno (pág. 94).

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- cantidad de RSM que se deberá disponer;
- cantidad de material de cobertura;
- densidad de compactación de los RSM;
- profundidad o altura del relleno sanitario;

- áreas adicionales para obras complementarias.

A continuación se detalla la ecuación para estimar las necesidades de área

$$Ars = \frac{Vrs}{hrs} \quad (8)$$

Donde:

Vrs = volumen de relleno sanitario (m³ /año)

Ars = área por rellenar sucesivamente (m²)

hrs = altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

2.8.7 Aspectos Operacionales

2.8.7.1 Disponibilidad del material de cobertura

La cobertura de la celda tiene como fin primordial aislar los residuos confinados en su interior del ambiente exterior, de forma de generar en el menor tiempo posible, condiciones anaeróbicas para su estabilización microbiológica. Esto impide la creación de hábitats favorables para la proliferación y/o atracción de vectores sanitarios a la vez que evita la infiltración de las aguas de precipitación que caen sobre el relleno y la salida incontrolada de líquidos, gases y vapores desde su interior.

Las dos principales características de los suelos que determinan su aptitud para ser usados como material de cobertura son su permeabilidad y su capacidad de retención (absorción) de agua, las que en conjunto determinan su capacidad para constituir un sello aislante. El material de cobertura requerido para la ejecución de las celdas debe ser bien graduado, homogéneo y tener un coeficiente

de permeabilidad no superior a 1×10^{-4} cm/s una vez compactado (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014, pág. 37)

Se recomienda un espesor de 0.15 a 0.20 m. compactados de tierra entre los niveles de celdas y de 0.60 m. de tierra en la capa final. La cobertura final se realizará en dos etapas, con capas de 0.30 m. y a intervalos de un mes, con finalidad de cubrir posibles asentamientos que se produzcan en la superficie (Eguizabal, s.f., pág 66)

2.8.7.2 Diseño de la celda tipo

La celda diaria se define como la unidad básica de construcción del relleno sanitario; se asemeja a un pequeño bloque, y está constituida por la cantidad de basura que se entierra en un día y por la tierra necesaria para cubrirla. (Jaramillo, 2002, pág 60)

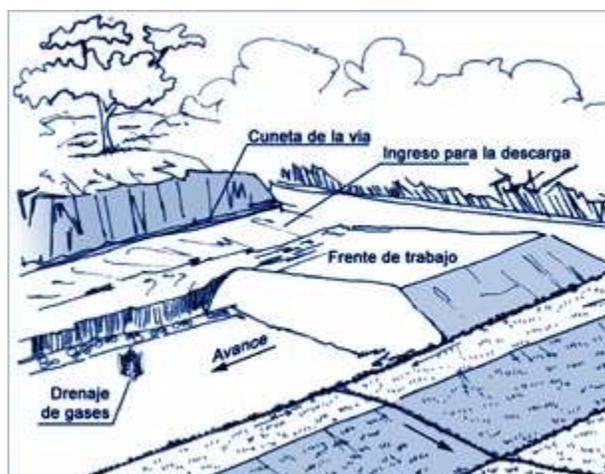


Figura 3 Esquema celda tipo

Fuente: Agencia Alemana de Cooperación

El ancho mínimo de las celdas (mínimo frente de trabajo), dependerá de la longitud de la cuchilla del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Es recomendable que dicho ancho sea de 2 a 2.5 veces el largo de la maquinaria empleada para esparcir y compactar los residuos finalmente dispuestos; facilitando de esta manera las maniobras de los vehículos. En los métodos de trinchera existe únicamente un frente de trabajo. En el método de área o combinado pueden existir 2 frentes de trabajo (Eguizabal, s.f.). El avance diario se calcula en base a las dimensiones antes definidas y a la cantidad de residuos sólidos que ingresan diariamente al relleno. (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, 2014, pág 43)

El esparcimiento y compactación se realizan en capas horizontales o inclinados con una pendiente 1:3 (altura: avance), lo cual proporciona mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra, mejor contención y estabilidad del relleno. (Jaramillo, 2002, pág . 61). En el caso de rellenos sanitarios semi-mecanizados y manuales las alturas recomendadas están dentro del rango de 1 a 1,5 metros con el fin de lograr una mayor compactación y evitar riesgos de accidentes a los operadores (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, 2014, pág 42).

El espesor mínimo que evita la emergencia de la larva de la mosca, que para el caso de un material compuesto de limo, arcilla y arena es de 10 cm. Para tener un cierto grado de seguridad la literatura técnica internacional recomienda un espesor mínimo de 15 a 20 cm, tanto para rellenos sanitarios mecanizados, como para rellenos sanitarios semi-mecanizados y manuales. (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, 2014). Para el cálculo de las dimensiones de la celda

tipo de los rellenos sanitario se emplea las señaladas en la Guía para el manejo y construcción de rellenos sanitarios (Jaramillo, 2002):

- **Volumen de la celda diaria.**

$$V_c = \frac{DSrs}{Drsm} \times m. c. \quad (9)$$

Donde,

V_c = Volumen de la celda diaria (m^3)

$DSrs$ = Cantidad de RSM recolectados (kg/día)

$Drsm$ = Densidad de los RSM recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500 kg/ m^3 .

$m. c.$ = Material de cobertura (20-25%)

- **Largo o avance de la celda**

$$l = \frac{Ac}{a} \quad (10)$$

Donde,

Ac = Área de la celda (m^2 /día)

a = Ancho que se fija de acuerdo con el frente de trabajo necesario para la descarga de la basura por los vehículos recolectores (m). Debe tenerse en cuenta que en pequeñas comunidades serán uno o dos vehículos como máximo los que descarguen a la vez, lo que determina el ancho entre 3 y 6 m.

2.8.7.3 Gases generados relleno sanitario

Un relleno sanitario es concebido como un reactor bioquímico con entradas: agua, residuos y con gases de relleno y lixiviado como salidas.

El gas del relleno sanitario comprende la mezcla de los gases que se encuentran dentro de un vertedero, la mayor parte de este gas, está formado por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), productos de la descomposición anaerobia de la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos. (Tchobanoglous, et al., 1994, p.410). Además se incluyen gases como amoníaco (NH_3), monóxido de carbono (CO), Hidrogeno (H_2), Sulfuro de Hidrogeno (NH_2).

En la tabla 5 se presentan las distribuciones porcentuales típicas de los gases, es importante mencionar que la mezcla de dióxido de carbono y metano en partes aproximadamente iguales es lo que se denominan como Biogás.

Tabla 5
Constituyentes típicos encontrados en el gas de vertedero

Componente	Porcentaje (base volumen seco)*
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrógeno	2,0-5,0
Oxígeno	0,1-1,0
Sulfuro, disulfuros, mercaptanos, etc.	0-1,0
Amoníaco	0,1-1,0
Hidrogeno	0-0,02
Monoxido de Carbono	0-0,2
Constituyentes en cantidades traza	0,01-0,6
Característica	Valor
Temperatura	37-67 C
Densidad específica	1,02-1,06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior, Kcal/m ³	890-1.223

Nota: * La distribución porcentual varía de acuerdo a la antigüedad del vertedero.
Fuente: Tchobanoglous, et al., 1994

El proceso de descomposición de residuos orgánicos resulta complejo y ocurre en diversas etapas de acuerdo con las condiciones del medio, determinadas por la temperatura, la presencia de oxígeno, las características del residuo y la edad del relleno sanitario. Según Camargo y Vélez (2009), se puede identificar cinco fases durante el proceso:

Fase I: Aeróbica, que inicia inmediatamente después de la disposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario y en la que las sustancias fácilmente biodegradables se descomponen por la presencia de oxígeno y se propicia la formación de dióxido de carbono (CO_2), agua, materia parcialmente descompuesta registrando temperaturas entre 35 y 40 °C.

Fase II: Aeróbica con el desarrollo de condiciones anaeróbicas en la que ocurre el proceso de Fermentación, actúan los organismos facultativos con la producción de ácidos orgánicos y la reduce significativamente el pH, condiciones propicias para la liberación de metales en el agua y la generación de dióxido de carbono (CO_2).

Fase III: Anaeróbica, resultado de la acción de organismos formadores de metano (CH_4), que en las condiciones adecuadas, actúan lenta y eficientemente en la producción de este gas mientras reducen la generación de dióxido de carbono (CO_2).

Fase IV: Metanogénica estable, que registra la más alta producción de metano oscilando entre 40-60% de metano (CH_4) en volumen.

Fase V: Estabilización, la producción de metano (CH_4) comienza a disminuir y la presencia de aire atmosférico introduce condiciones aeróbicas en el sistema.

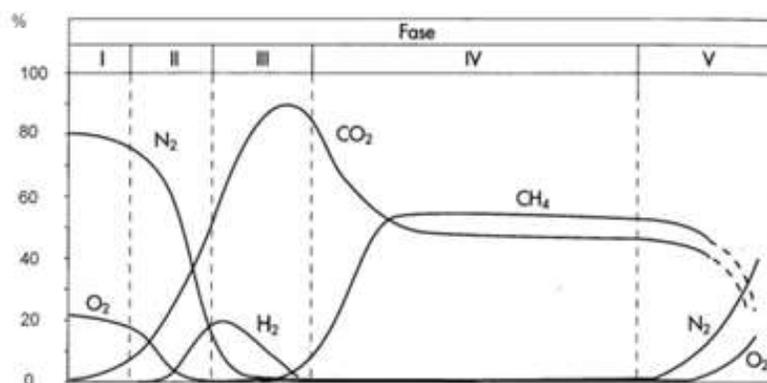


Figura 4 Fases en la generación de gases en el vertedero

Fuente: Tchobanoglous, et al., 1994

Las Fases I y II pueden durar desde varias semanas hasta dos años (o más), favoreciendo el proceso de biodegradación, las altas temperaturas de aire ambiente, la alta compactación y la disposición de residuos en capas delgadas y celdas pequeñas, reduciendo el tiempo transcurrido para estas fases. Las Fases III y IV tienen una duración aproximada de unos cinco años, en función de la operación del relleno sanitario y, en particular, de la cantidad de humedad de los residuos sólidos dispuestos, debido a que el alto contenido de humedad incrementará significativamente las reacciones biológicas, reduciendo el tiempo transcurrido en las Fases III y IV y, por tanto, aumentando la cantidad de biogás generado con el tiempo.

La Fase V puede tener una duración de varias décadas o incluso siglos, para que los residuos dispuestos logren finalmente la estabilización, que depende en gran medida de las medidas adoptadas en la operación del relleno sanitario para garantizar el aumento de su tiempo de vida útil.

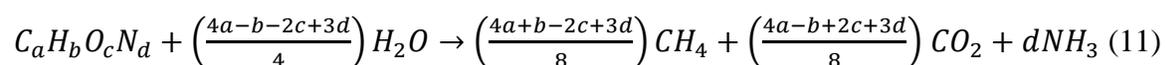
2.8.7.3.1 Volumen de gas producido

Según Tchobanoglous et al. (1994) “la reacción química generalizada para la descomposición de anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la siguiente formula” (p.436).



Una forma de estimar la generación potencial total de biogás al interior de una celda sanitaria consiste en realizar el cálculo estequiométrico de la descomposición de una unidad de masa de materia orgánica, suponiendo una transformación completa de ésta a través de un proceso característico de la fase metanogénica estable y asumiendo una molécula teórica representativa de la composición de la materia orgánica de los residuos que se depositan en el relleno sanitario. Una formulación intermedia de la materia orgánica es aquella que considera el término $C_a H_b O_c N_d$.

De acuerdo con Tchobanoglous et al. (1994), la composición teórica del biogás obtenido a partir de un determinado compuesto orgánico podría obtenerse con la siguiente reacción:



Mediante la reacción (11) se pueden calcular los valores de producción y composición del biogás obtenido a partir de diversos componentes de la materia orgánica. Las ecuaciones de degradación completa de la materia orgánica requieren condiciones ideales en el vertedero, ya que consideran que toda la fracción biodegradable se degrada y produce biogás. Sin embargo, el resultado

obtenido indica el límite máximo teórico de la producción de metano, es por ello que algunos autores señalan que es más realista asumir la hipótesis de que no todos los residuos se descomponen en metano y dióxido de carbono

Según Tchobanoglous et al. (1994) se puede dividir los materiales orgánicos presentes en los residuos sólidos en dos clasificaciones: 1) aquellos materiales que se descomponen rápidamente (tres meses) y 2) aquellos materiales que se descomponen lentamente (hasta 50 años). En la tabla 6 se identifica los componentes de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos de descomposición lenta y rápida.

Tabla 6
Constituyente orgánicos rápidamente y lentamente biodegradable

Componentes de residuos orgánicos	Rápidamente biodegradables	Lentamente biodegradables
Residuos de comida	si	
Periódicos	si	
papel de oficina	si	
Cartón	si	
Plásticos		si
Textiles		si
Goma		si
Cuero		si
Residuos de jardín		si
Madera		si
Orgánicos Misceláneos		si

Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

Según Tchobanoglous et al. (1994) las tasas anuales descomposición de basan en modelos triangulares de producción de gas, en el que la tasa de punta de producción se produce en uno y cinco años. La producción de gas se inicia a finales del primer año de la puesta en

funcionamiento del vertedero. El área debajo del triángulo es igual a la mitad de la base por la altura, por lo tanto; la cantidad de gas procedente de los residuos colocados durante el primer año de funcionamiento es igual a:

$$\text{Total del gas producido (m}^3\text{)} = \frac{\text{base (año)} \times \text{altura, tasa mas alta de produccion de gas (m}^3\text{/año)}}{2}$$

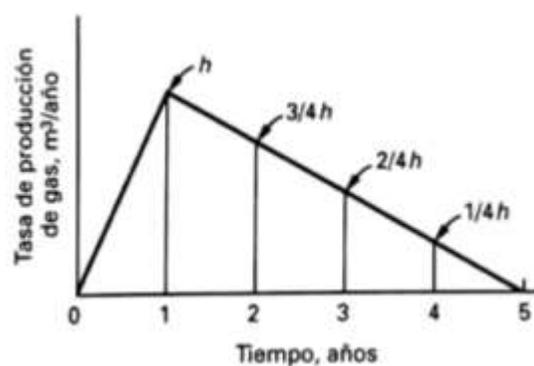


Figura 5 Modelo triangular, residuos rápidamente biodegradable.
Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

Para el cálculo de la tasa de producción de gas de los residuos lentamente biodegradables se tomó las siguientes consideraciones:

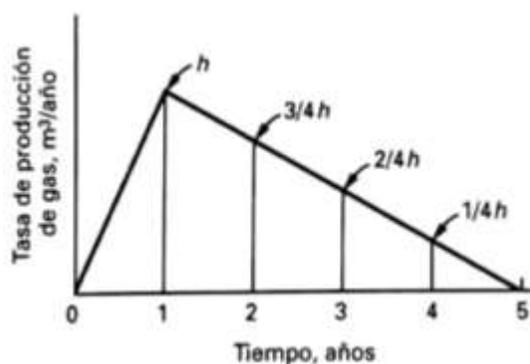


Figura 6 Modelo triangular residuos lentamente biodegradable.
Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

El gas de relleno se puede evacuar con drenaje activo o pasivo. El drenaje activo consiste en la succión del gas mediante un soplador. Cuando se hace el drenaje pasivo, se controla la difusión natural de los gases, con el fin de evacuarles solamente por los orificios previstos. Se logra una mayor eficiencia con el drenaje activo, pero los costos del drenaje pasivo son mucho más bajos. (Röben, 2002, pág. 58)

2.8.7.4 Lixiviados generados

“Una de las características distintivas de los residuos sólidos domésticos en los países en desarrollo es su alto contenido de humedad, la que es aportada fundamentalmente por la fracción orgánica biodegradable” (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, 2014, pág. 52).

Según Tchobanoglous et al. (1994), el potencial de formación de lixiviado puede valorarse mediante la preparación de un balance hidrológico del vertedero. El balance hidrológico implica la suma de todas las cantidades de agua que entran en el vertedero y sustracción de las cantidades de agua que sale en forma de vapor de agua. La cantidad potencial de lixiviado es la cantidad de agua en exceso sobre la capacidad de retención de humedad del material en el vertedero. (pág. 473)

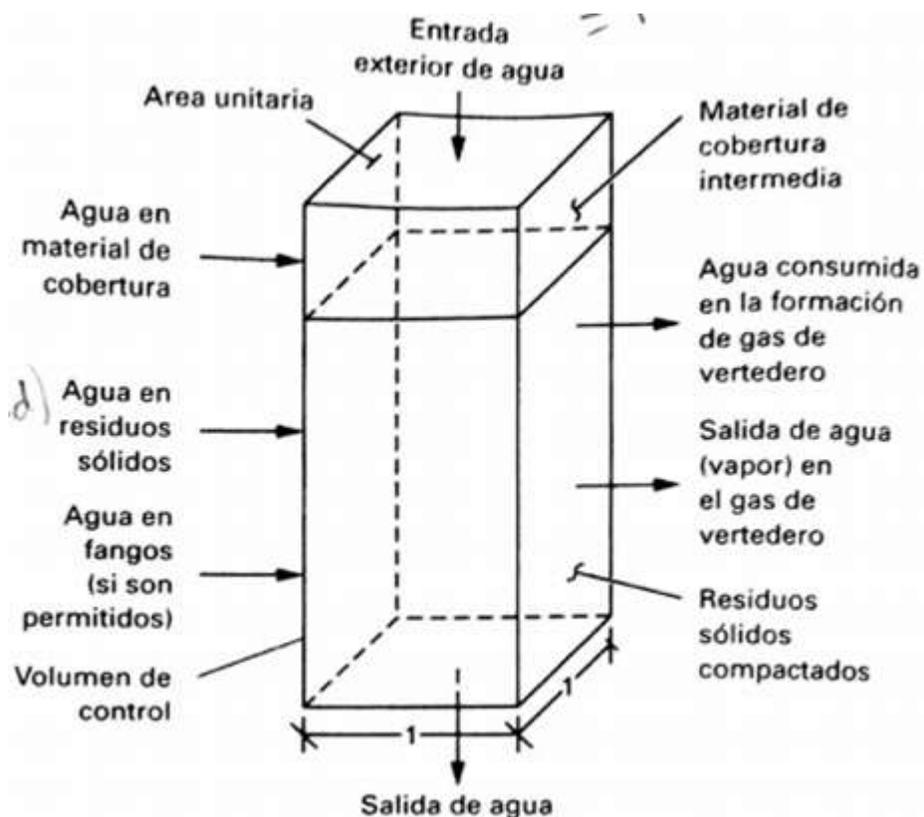


Figura 7 Balance de lixiviados en un vertedero

Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

Agua Filtrada superiormente: el agua que entra desde arriba procede de la precipitación atmosférica que se ha filtrado a través del material de cobertura. En las capas por debajo de la capa superior, el agua que entra desde arriba procede del agua que se ha filtrado a través de los residuos sólidos situados sobre la capa en cuestión.

Agua aportada por los residuos sólidos: El agua que entra al vertedero con los materiales residuales es tanto el agua intrínseca de los residuos como la humedad que se ha absorbido de la atmósfera o de la lluvia.

Agua aportada por el material de cubrición. La cantidad de agua que entra con el material de cubrición dependerá del tipo y del origen del material de cubrición y de la estación del año. La cantidad máxima de humedad que el material de cubrición puede contener se define como capacidad de campo (CC) del material, o sea, el líquido que queda en el espacio de los poros.

Agua perdida inferiormente: El agua que sale desde el fondo de la primera celda del vertedero se llama lixiviado. El agua que sale del fondo de la segunda celda y de las siguientes celdas procede del agua que entra desde la celda superior a la celda en cuestión.

Agua consumida en la formación del gas del vertedero: Se consume agua durante la descomposición anaerobia de los constituyentes orgánicos de los Residuos Sólidos Urbanos.

Agua perdida como vapor de agua: El gas de vertedero normalmente está saturado en vapor de agua.

2.8.7.4.1 Preparación del balance de aguas del vertedero

Según Tchobanoglous et al. (1994), los términos que componen el balance de aguas pueden colocarse en forma de ecuación de la siguiente forma.

$$\Delta Srs = Wrs + Wft + Wmc + Wau - Wgv + We + Wf(l)$$

Donde,

ΔSrs : Variación de la cantidad de agua almacenada en los residuos sólidos kg/m^3

Wrs : Agua (humedad) en los residuos sólidos entrantes kg/m^3

Wft : Agua (humedad) en los fangos de las plantas de tratamiento entrante kg/m^3

Wmc : Agua (humedad) en el material de cobertura kg/m^3

Wau : Agua filtrada superiormente (para la capa superior del vertedero el agua desde arriba procede de la lluvia o del agua de nieve) kg/m^3

Wgv : Agua perdida en formación del gas de vertedero kg/m^3

We : Agua perdida como vapor de agua saturado en el gas de vertedero kg/m^3

$Wf(l)$: Agua que sale inferiormente (en la celda localizada directamente por encima de un sistema para la recogida del lixiviados, el agua del fondo se corresponde al lixiviado) kg/m^3

Se prepara el balance hidrológico del vertedero añadiendo la masa del agua entrante por unidad de área de una capa concreta del vertedero, para un incremento de un tiempo dado, al contenido en humedad de esa capa al final del incremento del tiempo anterior, y sustrayendo la masa de agua perdida de la capa durante el periodo de tiempo actual. El resultado se conoce como agua disponible en el incremento de tiempo actual para una capa particular del vertedero. Para saber si se formara lixiviado, se compara la capacidad de campo del vertedero con la cantidad de agua presente. Si la capacidad de campo es menor que la cantidad de agua presente, se formara lixiviado.

2.8.7.4.2 *Calculo del Balance Hídrico en el suelo mediante el método Thornthwaite*

Según Manzano (2008), se debe cuantificar los componentes del balance hídrico en el suelo, para el efecto se utiliza el Método Thornthwaite. Los cálculos están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes.

$$P = Es + ETR + I$$

(12)

Donde:

P: precipitación (en mm/unidad de tiempo, habitualmente año o mes).

Es: escorrentía superficial (en mm/unidad de tiempo). La mayor parte está en forma canalizada (ríos y arroyos) y se mide en estaciones de aforo construidas especialmente para ello en los cauces.

I: es la infiltración en el terreno (en mm/unidad de tiempo). Parte de la misma puede descargar de nuevo a la superficie del terreno (cauces, laderas) tras un tiempo de permanencia más o menos corto, y otra parte se incorporará finalmente a la zona saturada, convirtiéndose en recarga efectiva al acuífero (R). I y R se calculan tanto mediante métodos experimentales como numéricos.

ETR: evapotranspiración real (en mm/unidad de tiempo). Es la suma de la evaporación directa de agua desde la superficie del terreno y/o desde los poros y grietas del mismo, más la transpiración de las plantas.

Con mucha frecuencia, la evapotranspiración no se mide experimentalmente sino que se calcula mediante expresiones empíricas o semi-empíricas. Uno de los métodos más usados en hidrología y edafología es el de Thornthwaite, que permite estimar la ETP (evapotranspiración potencial) y la ETR (evapotranspiración real) de un lugar para cada mes del año a partir de los parámetros básicos: **i** (índice de calor mensual), **e** (evaporación potencial media del mes) y **a** (coeficiente experimental).

El Índice de calor anual (I) se calcula con la sumatoria de los 12 índices de calor mensuales (i):

$$I = \sum_1^{12} i = \sum_1^{12} (t/5)^{1,514} \quad (13)$$

Donde:

i: índice de calor mensual

t: temperatura media diaria del mes (°C) en la zona de estudio (calcular a partir de datos de estaciones hidrometeorológicas).

El coeficiente experimenta a, se calcula de la siguiente manera:

$$a = (675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 - (1972 \times 10^{-5})I + 0,4924 \quad (14)$$

Donde:

I: El Índice de calor anual

Según Almorox (s.f) Thornthwaite comprobó que la evapotranspiración era proporcionada por la temperatura media afectada de un coeficiente exponencial (pág. 1.), por lo tanto se propone la siguiente fórmula:

$$e = 16 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a \quad (15)$$

Donde;

e: evapotranspiración potencial media diaria del mes (mm/día) para meses de 30 días y 12 horas de luz diaria.

t: temperatura media diaria del mes en cuestión (°C) en la zona de estudio.

I: índice de calor anual. Calculado como suma de los índices de calor mensual (i) de los 12 meses del año.

a: coeficiente experimental de ajuste.

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado será preciso corregir la ETP sin ajustar “e” mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días de mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas que deberá multiplicar a la ETP sin ajustar:

$$ETP = e.L \quad (16)$$

Donde,

e: evapotranspiración mensual sin ajustar en mm

L: factor de corrección del número de días del mes (Nd) y la duración astronómica del día N-horas de sol.

$$L = \frac{Nd}{30} \times \frac{N}{12}$$

(17)

2.8.7.4.3 *Estimación de la escorrentía a partir de la determinación del coeficiente.*

El coeficiente de escorrentía expresa la relación existente entre la Escorrentía Superficial o precipitación neta y la precipitación total. Una vez conocido este coeficiente, la Escorrentía se calcula multiplicando dicho valor por la precipitación total. (Ibanez, Moreno, y Blanquer , s.f.,

pág. 70). El coeficiente medio durante un intervalo de tiempo se define como el cociente entre la lluvia neta y la lluvia total caída durante dicho intervalo de tiempo.

$$C = \frac{\Delta P_n}{\Delta P} \quad (18)$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía.

P_n: es la Escorrentía Superficial

P: es la precipitación total.

Este coeficiente expresa el tanto por uno que representa la Escorrentía Superficial respecto a la lluvia total.

Estimación de la escorrentía a nivel de tablas:

- a) Tabla de Prevert: Los valores del coeficiente de escorrentía que se muestran se han obtenido a partir de parcelas experimentales.

Tabla 7
Método de cálculo de escorrentía Prevert

Uso de Suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Arenoso – limoso Limoso - arenoso	Limoso Limoso - arenoso	Arcilloso
Bosque	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Cultivo Agrícola	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

Fuente: Ibanez, et al (s.f.)

2.8.7.4.4 Capacidad de campo del vertedero

El agua que entra en el vertedero, que no se consume y que no sale como vapor de agua, puede mantenerse en el vertedero o puede aparecer como lixiviados. El material residual y el material de cobertura, ambos, son capaces de retener agua. La cantidad de agua que se puede retener, en contra de la gravedad, se denomina capacidad de campo. La cantidad potencial del lixiviado es la cantidad de humedad dentro del vertedero por encima de la CC del vertedero. (Tchobanoglous, 1994, pág. 481.) La CC, que varía con el peso de sobrecarga, puede estimarse utilizando la siguiente ecuación:

$$CC = 0,6 - 0,55 \left(\frac{W}{10000 + W} \right) \quad (18)$$

Donde,

CC= Capacidad de campo (o sea, la fracción de agua en los residuos basándose en el peso seco de los mismos)

W= Peso de sobrecarga calculado en la mitad de la altura de los residuos dentro del nivel en cuestión.

3 Capítulo: ESTUDIOS PRELIMINARES

3.1 Estudio Topográfico

Se realizó el levantamiento topográfico del terreno destinado a la construcción del relleno sanitario, para ello se efectuó el reconocimiento del sitio y recorrido del área. El trabajo de campo consistió en tomar los puntos GPS (*Global Positioning System*) que corresponde a los puntos de referencia, para el efecto se colocó mojones (señales), con estos puntos de referencia se procede a realizar el trabajo de levantamiento, estacionándose en el punto Nro. 1 para posterior ser visado al punto Nro. 2 y se procede a la lectura continua hasta la lectura del último punto. Para realizar el levantamiento se trabajó con dos prismas, la estación total marca Trimble cuya precisión es de 2 segundos. La toma de puntos se realiza como exige el terreno. Los puntos de detalle se fueron tomando según avanzó la medición esto se refiere a los desniveles que existe en el terreno. En el caso del presente levantamiento se tomó cada metro de distancia, con la finalidad de tener mayor precisión. Además en el levantamiento topográfico se ubicó construcciones y todo detalle que se nos sirva para la planificación del proyecto. Una vez realizado el levantamiento en campo se procedió a trasladar datos de la estación total al computador, dibujar en AUTOCAD y de ser el caso se procede a realizar algún tipo de corrección, finalmente se ubica en la cuadrícula con sus respectivas coordenadas con la finalidad georreferenciar en coordenadas UTM WGS84. En la Figura 8. Levantamiento Topográfico se puede evidenciar que el predio destinado para la construcción del relleno sanitario tiene un camino de ingreso alrededor de la propiedad, las curvas de nivel varía de altura de 2552,00msnm hasta una altura 2492,00 msnm, es decir existe una diferencia de 60 metros entre el punto alto hasta el punto bajo.

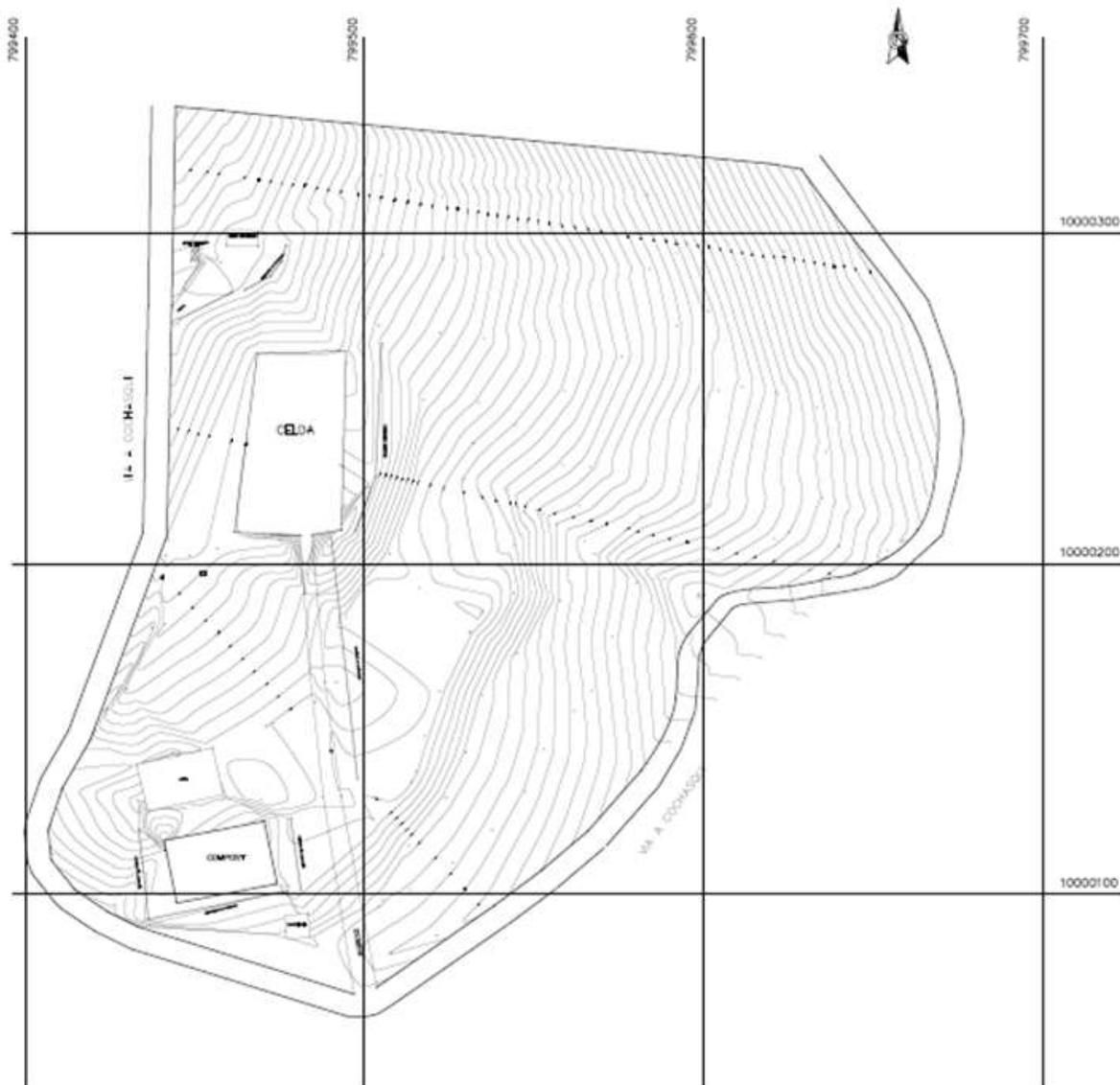


Figura 8 Levantamiento Topográfico predio Relleno Sanitario

3.2 Estudio Geológico y Geomecanizado

Según Álvarez et al. (2018), en la zona de estudio se divide entre 7 unidades litológicas con estratos con inclinación de 50° – 80° , de edad cuaternaria. En la estructura de los taludes existen varias fallas de tipo normal debido a esfuerzos extensivos. Las unidades geológicas de la zona de

estudio son de litología: Areniscas de grano fino, limo arcilloso, limonita, arcilla limosa, arcillolita, intercalación de gravas -arenas y cangagua; su estratigrafía varía entre sedimentos de grano fino desde limo hasta grandes bloques.

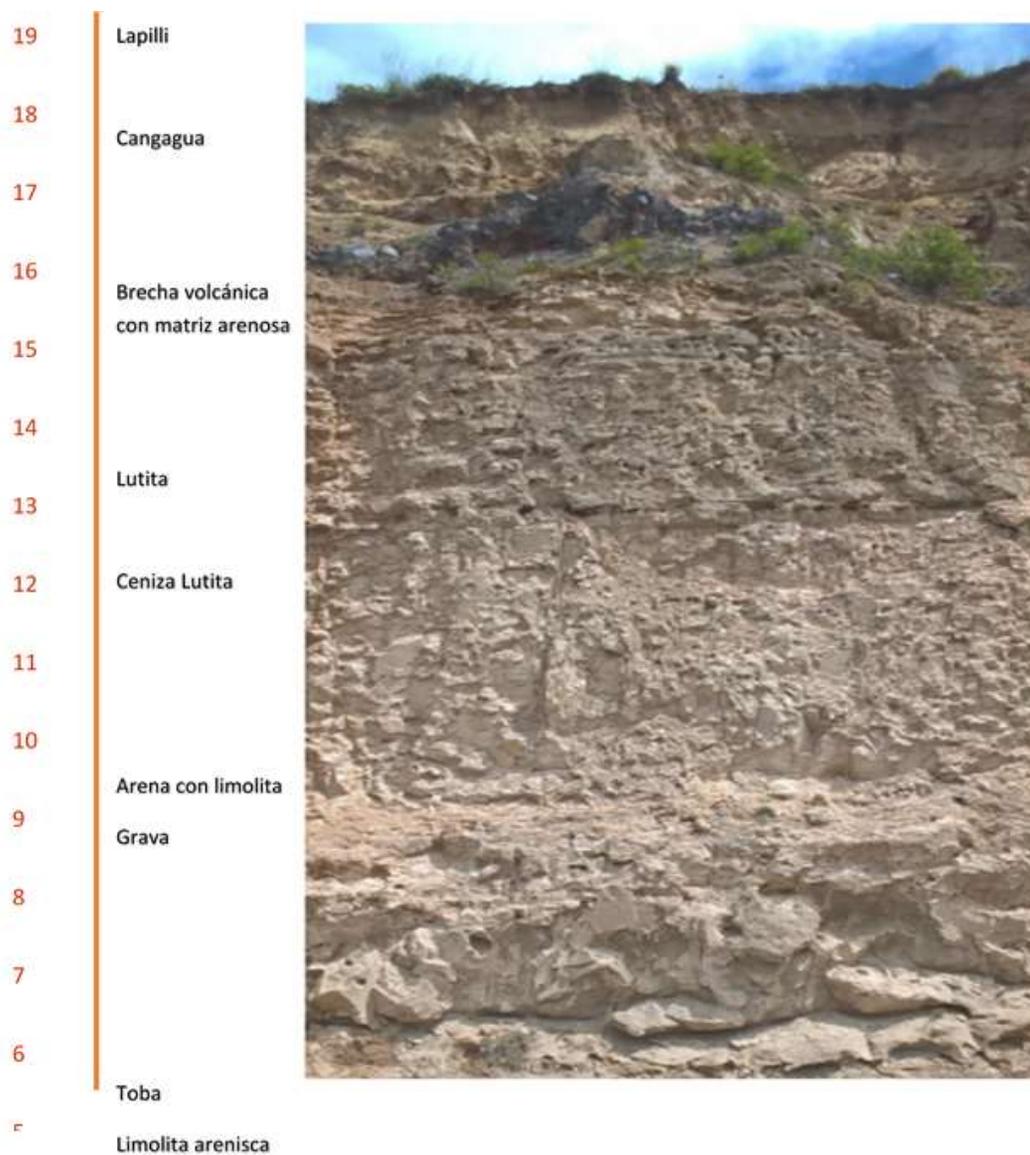


Figura 9 Litología característica del área de estudio. (19m)

Unidades areniscas: entre arena fina y gruesa desde la base al techo, color gris claro. En la base existe arena con lapilli y rocas volcánicas de tamaño de grano de 2 – 3 mm con espesor aproximado de 36 cm; arena fina y gruesa con líticos de pómez de diámetro 2mm con presencia de minerales micáceos.

Unidad limolita: La mineralogía constituida de minerales arcillosos, plagioclasa de grano muy fino. Presenta contenido de humedad baja, consistencia alta y resistencia media firme.

Unidad arena con ceniza: Compuesta por líticos subredondeados de composición volcánica, además de escoria, ceniza y pómez con minerales de mica.

Unidad lutitas Esta unidad presenta tonalidades rojas debido a oxidaciones, su tamaño de grano es fino y su textura es clástica (limo arcilloso), presenta minerales arcillosos. Posee un espesor variable entre 2.5 – 3 m.

Unidad arenas: De composición andesítica, con minerales de hornblenda y plagioclasa, el tamaño de grano corresponde a 2mm. Constituida en un 30% de arena fina con presencia de minerales micáceos y sorteo medio.

Unidad Gravas y arenas: Constituida de líticos de composición andesítica y pómez, con tamaño de grano grueso entre 2 y 3 mm. Fragmentos volcánicos constituidos de minerales como plagioclasa y hornblenda; fragmentos de pómez con consolidación baja.

Unidad volcanoclásticos: De composición andesítica basáltica, su depósito está con respecto al paleorelieve preexistente, el espesor es de 1.5 m.

Unidad Cangahua: Está distribuida entre líticos volcánicos, pómez, ceniza y paleosuelos. Compuesta de material de grano muy fino combinado entre arcillas y ceniza, poco compactado, con presencia de minerales como plagioclasa y micas. El espesor de la unidad es variable desde 0.50 – 2m y su depósito se encuentra a base al relieve preexistente.

Además en el estudio geológico se usó del software Slide y aplicación de los métodos de Bishop y Janbú, al talud de la vía se obtuvo un valor promedio del factor de seguridad de 2.6, el cual al ser mayor a 1 representa una susceptibilidad baja en cuanto a la ocurrencia de un movimiento en masa. También se analizó al esfuerzo que soporta el talud (tránsito de camiones) se analizó el cálculo del factor de seguridad considerando un peso de 20 KN/m², donde se obtuvo un promedio del FS de 1.9, lo cual aún representa una susceptibilidad baja a deslizamientos. En el análisis del talud del relleno de basura se obtuvo un FS promedio de 6.9, lo cual representa una susceptibilidad muy baja a movimientos de tierra lo que permite definir una zona estable.

3.3 Estudio Geomorfológico

3.3.1 Unidades Ambientales.

Las unidades ambientales han sido definidas tomando en cuenta su génesis, los factores morfológicos, morfométricos y la litología, así como los factores externos modeladores como el clima y vegetación. Según Instituto Espacial Ecuatoriano (2013), en el cantón Pedro Moncayo se encuentran 5 unidades ambientales:

- Cimas Frías de las Cordilleras de Estructuras Volcánicas.
- Flancos Inferiores de Estructuras Volcánicas
- Relieves de los Fondos de Cuencas con Rellenos Volcano-Sedimentarios.
- Relieves de los Fondo de Cuencas y Gargantas Fluviales.
- Medio Aluvial

El sitio que el GAD del Cantón Pedro Moncayo ha seleccionado para la ubicación del Relleno Sanitario corresponde a:

Relieves de los Fondos de Cuencas con Rellenos Volcano-Sedimentarios. Los paisajes de fondos de cuencas con relleno volcano-sedimentario se oponen muy claramente a otros relieves como los de fondos de cuenca y gargantas fluviales, ya que comprenden zonas con pendientes medias a fuertes, la unidad en su mayoría comprende microconglomerados con matriz limo arenosa, areniscas gruesas pertenecientes a la Formación Chiche y que están cubiertas por tobas volcánicas de la Formación Cangahua. Esta unidad corresponde al 47,97% aproximadamente del total de superficie que conforma el cantón Pedro Moncayo, en concordancia con su altitud, su morfología se compone principalmente de superficies de mesetas volcánicas, llanuras de depósitos volcánicos, flujos de lava y vertientes (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013)

Sus características son:

- Ecología: Matorral
- Formas del relieve: Presentan relieves volcánicos colinadosalto a ondulados.
- Geología: Formación Chiche, Cangahua y depósitos coluvio-aluviales.
- Edafología: suelos erosionados poco profundos sobre rellenos volcano-sedimentarios.

- Cobertura natural: Bosque de Neblina Montano Matorral Seco y Húmedo Montano

3.3.2 Descripción Geomorfológica - Geológica

El Cantón Pedro Moncayo se localiza en su mayor parte dentro del Valle Interandino en el norte del país, rodeado por elevaciones de origen tectónico erosivo y estructural que varían entre los 3000 y 4200 m aproximadamente (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013, pág 33.).

Volcánico-Erosivo- Superficie de meseta volcánica (Smv): Estas superficies son el resultado de la erosión diferencial de una extensión plana, se presentan con una extensión de 7698.68 ha, lo cual equivale al 23 % de la superficie total del cantón; se ubican en gran parte del territorio (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2013, pág. 43); se los atribuye al material piroclástico como ceniza y lapilli de la Formación cuaternaria Cangahua y consta de pendientes entre suaves (5%) a medias (25%), se observó que el desnivel no sobrepasa los 15 m, y que el tipo de drenaje principalmente es dentrítico.



Figura 10 Superficie de Meseta volcánica (Smv)

3.4 Estudio de Suelo

Por parte del GAD de Pedro Moncayo se realizó el estudio de suelo, con la finalidad de conocer las características físico-mecánicas del suelo donde se proyecta ejecutar el Relleno Sanitario, para el efecto se determinó lo siguiente:

- Estratigrafía que presenta el Subsuelo.
- Tipo de cimentación adecuado a la naturaleza que presenta el subsuelo y a la magnitud de carga a recibir.
- Cota recomendada de cimentación; estableciendo las alternativas más económicas para el proyecto.
- Capacidad Portante del terreno; expresada como el máximo esfuerzo de trabajo admisible por el suelo.
- Sistema constructivo de la cimentación el proyecto adecuado a la naturaleza del suelo.
- Parámetros para evaluar la estabilidad de taludes y/o diseño de muros de contención.

3.4.1 Ensayos

3.4.1.1 De campo

- a) Se realizó 6 sondeos de perforación de 3 pulgadas de diámetro y con un total de 24 metros de perforación; su ubicación se realizó de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

PS1: X 0799416; Y 0000082

PS2: X 0799397; Y 0000077

PS3: X 0799391; Y 0000361

PS4: X 0799366; Y 0000352

PS5: X 0799507; Y 0000057

PS6: X 0799494; Y 0000036

- b) Ensayos de penetración estándar; SPT, en forma continua durante la ejecución de los Sondeos realizados.
- c) Toma de muestras alteradas; de los estratos representativos del subsuelo.
- d) Toma de dos muestras inalteradas en bloque de los taludes existentes en el camino del sitio, de los estratos de influencia en la cimentación y en la 3 estabilidad de los taludes.
- e) Clasificación manual y visual de los materiales encontrados; encasillados dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- f) Toma de una muestra integral del talud.

3.4.1.2 Laboratorio

- a) Determinación del contenido de humedad natural, 4 ensayos.
- b) Granulometría por lavado en la malla # 200 y en seco por las demás mallas estándar, 4 ensayos.
- c) Límites de Atterberg; Líquido y Plástico. Verificando la clasificación de campo, 4 ensayos.
- d) Dos ensayos de compactación Proctor Estándar.
- e) Dos ensayos de Compresión Triaxial; del tipo no consolidado No drenado y Corte rápido; sobre una muestra remoldeada a las condiciones del sitio; y sobre una muestra remoldeada a las condiciones de compactación.

Río Pisque. Los 6 sondeos, realizados en el área, indican una relativa uniformidad estratigráfica en el sentido horizontal; siguiendo la inclinación de la topografía del talud natural que tiene una mediana inclinación hacia el sur oriente.

Se establece la siguiente Columna estratigráfica; representativa del subsuelo, considerando el nivel natural actual del terreno como 0,00.

De 0,00 a 0,20m	Material de Cobertura, cobertura compuesto por suelo orgánico y residuos de materiales removidos.
De 0,20 a 2.0 m	Estratos decimétricos alternados de arena-limosa de color variado y de baja resistencia; se presentan estratos arenosos limpios. Esta unidad litológica aparece en menor magnitud en diferentes sectores del área investigada
De 2.0 a 3.50 m	Estratos decimétricos alternados de gravilla en matriz arcilla limosa color café amarillento de bajo contenido de humedad y de mediana resistencia.
De 3.50 a 6.0m	Estratos alternados de arena y grava arenosa de mediana resistencia de color variado, gris café claro, de mediano a bajo contenido de humedad. Presencia de material pomítico.

Dentro de las conclusiones se cita las siguientes:

- El subsuelo presenta medianas características a ser utilizado como cimentación de estructuras de baja a mediana altura como la proyectada.
- Existe uniformidad estratigráfica en el sentido horizontal; observándose una conformación litológica relativamente uniforme.
- Existen materiales de bajo contenido de humedad. Para la ejecución de terraplenes es necesario humedecer a los materiales para obtener la humedad óptima para compactación
- El subsuelo presenta la conformación estratigráfica de origen volcánico caracterizada por la presencia de ceniza, toba y estratos decimétricos a métricos de grava y/o arena limosa.
- Sobre estos materiales se encuentra suelos de origen transportado y coluvial formado por estratos de arena limosa de mediana compacidad y baja resistencia en un espesor pequeño.
- Los materiales encontrados son de fácil excavación; se requerirá entibamiento y confinamiento de los taludes para la excavación de las zapatas/plintos y para la conformación de plataformas.
- Los materiales arcillo-limosos que se encuentran en la actual plataforma son de mediana permeabilidad y el drenaje es dificultoso, el acumulamiento de agua va a generar pérdida de resistencia del suelo e inestabilidad de los taludes.
- Los materiales a excavar presentan buenas condiciones a ser usados en los rellenos. La humedad natural es más baja que la óptima de compactación, y bajo una mediana a baja energía se obtiene material con buena capacidad de soporte.
- Los suelos arcillosos que se presentaran en el talud de la excavación a realizar, tienen una mediana a alta resistencia al corte.

- El subsuelo presenta estratos de arena y grava pomítica que son susceptibles a erosión, existen pequeños estratos de arena de mediana a baja compacidad y resistencia media.
- No se encontró nivel freático hasta la profundidad investigada. Existen, en las paredes del talud, materiales arenosos que conducirán el agua horizontalmente con facilidad. En la Vía Panamericana se aprecian cortes de aproximadamente 30 metros y el nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 30m.

3.5 Estudio Climatológico y Meteorológico

La compilación de información de las estaciones se basó principalmente en los archivos de la red meteorológica nacional del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). Para la caracterización de los parámetros del clima en esta área de influencia del proyecto, se utilizaron los registros de estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de la zona de interés, dada su cercanía y por tener similar posición fisiográfica.

Tabla 8
Estaciones Climáticas

CODIGO	ESTACION
M022	TABACUNDO H. MOJANDA
M111	MALCHINGUI INAMHI
M574	HDA. JERUSALEM
M605	COCHASQUI - HDA. INAMHI
MA2T	TOMALON - TABACUNDO

Fuente IEE-MAGAP, 2013

En la tabla 8 se encuentra el código, nombre, ubicación en el Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), y altura (msnm) de las estaciones meteorológicas inventariadas en la zona de estudio.

Tabla 9
Ubicación de Estaciones Meteorológicas

CODIGO	ESTACION	COORDENADAS		ALTURA
		ESTE	NORTE	
M022	TABACUNDO H. MOJANDA	807571	1000568	2940
M111	MALCHINGUI INAMHI	796186	1000655	2840
M574	HDA. JERUSALEM	794144	9999312	2300
M605	COCHASQUI - HDA. INAMHI	799023	1000582	2960
MA2T	TOMALON - TABACUNDO	804969	1000324	2790

Fuente: IEE-MAGAP, 2012

La recopilación de los historiales de precipitación y de los demás parámetros climáticos tanto diarios, mensuales como anuales de todas las estaciones de la zona en estudio, han sido actualizados hasta diciembre del 2015, en base a los registros originales (anuarios meteorológicos y en formato digital) del INAMHI.

3.5.1 Precipitación

Analizando las series de precipitaciones mensuales conjuntamente con los días de lluvia del mismo lapso de tiempo y relacionándolos con los valores de estaciones vecinas, se han eliminado algunos datos ilógicos. Los cálculos para obtener valores medios mensuales y anuales de las alturas de precipitaciones, fueron hechos en base a todo el período de años de observación de cada estación y detallado año por año.

Tabla 10
Precipitación Media Mensual (mm) de estaciones meteorológicas

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TABACUNDO H.MOJANDA	69,9	103,6	108,7	119,7	75,4	33,4	15,4	23,7	57,8	112,2	110,8	85,9	916,6
MALCHINGUI INAMHI	41,7	42,2	53,7	87,1	51,5	28,3	13,4	11,6	39,1	45,6	43,2	40,0	497,6
HDA.JERUSALEN	34,6	43,4	78,3	61,2	31,4	15,9	12,6	13,9	37,9	71,0	62,7	32,2	495,2

CONTINÚA

COCHASQUI-HDA. INAMHI	79,5	85,6	71,7	98,4	64,0	35,5	12,7	14,8	52,0	102,8	102,4	56,7	776,2
TOMALON-TABACUNDO	55,7	57,6	77,4	87,0	59,9	28,3	11,6	8,7	33,2	66,1	68,3	66,1	619,8

Para las series con años incompletos se procedió a obtener el promedio mensual de todo el período correspondiente al mes o meses faltantes, siempre que sean únicamente hasta tres, este valor artificial suple al no registrado que se utiliza en el cálculo del valor anual.

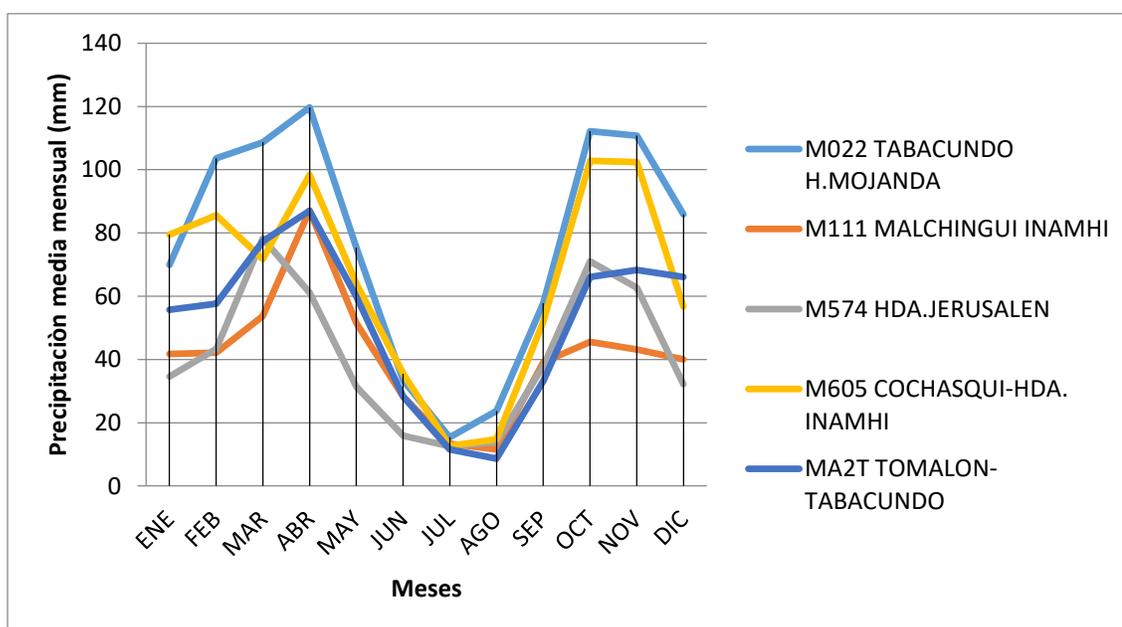


Figura 11 Precipitación media mensual (mm) de las estaciones meteorológicas.

En el Figura 11, se representan los valores medios mensuales de las estaciones; en él vemos dos estaciones definidas: una donde las lluvias son más abundantes en el mes de abril y el segundo período durante los meses de octubre a noviembre.

A sabiendas que los valores de precipitación obtenidos en las diferentes estaciones meteorológicas son puntuales, es necesario conocer su distribución geográficamente en la zona en estudio; para ello, uno de los métodos más usados en meteorología para entender esta distribución es por medio de trazos de isoyetas. En este sentido, se presenta la figura 12, un mapa de isoyetas del cantón Pedro Moncayo trazado con separación de 100mm. Los valores de las isoyetas varían desde 400mm hasta 1300mm.

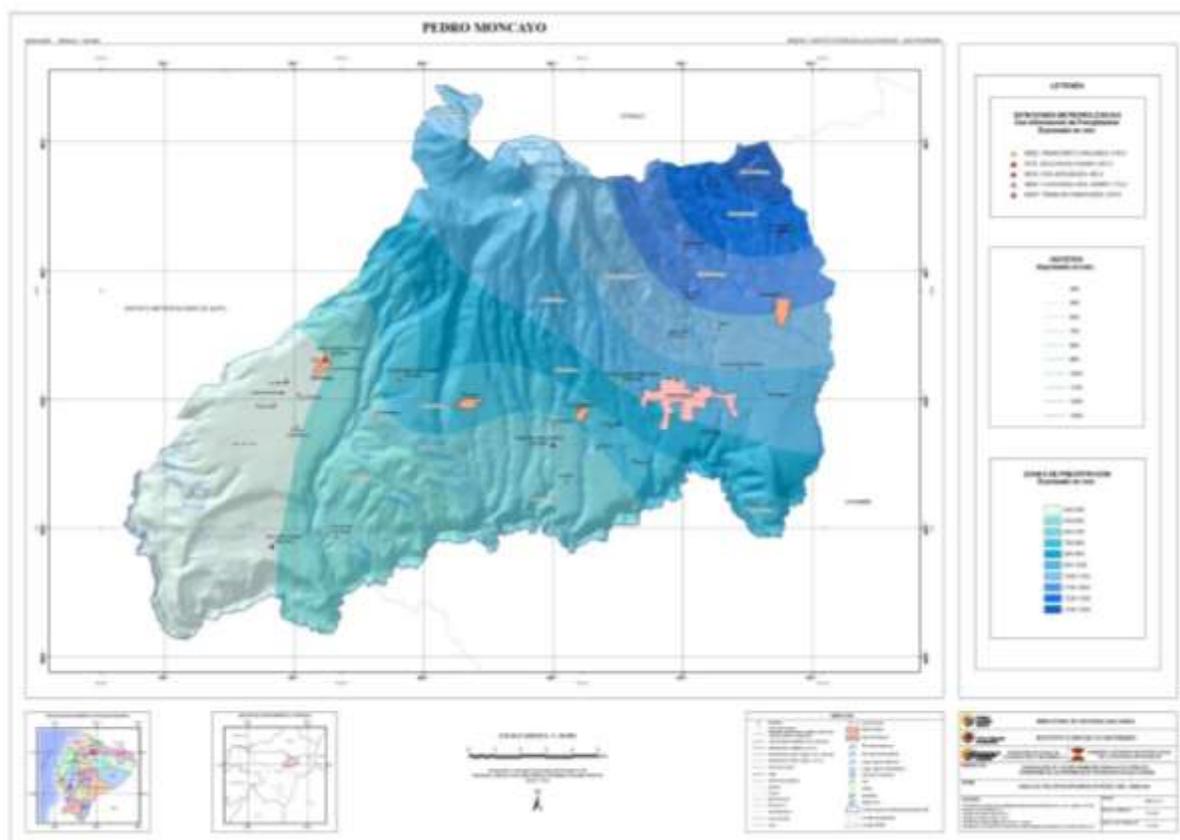


Figura 12 Mapa de isoyetas Cantón Pedro Moncayo.

Fuente: IEE, 2013

3.5.2 Temperatura

Las estaciones de registros de temperatura presentan información discontinua y periodos de registros distintos. Se calcularon para cada estación climática las temperaturas medias mensuales y anuales de todo el período histórico de registros, los mismos que se presentan en la tabla 11. Se seleccionaron estaciones que proporcionen valores de temperatura media.

Tabla 11

Temperatura media mensual y anual (°C)

CÓDIGO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
M022	12,8	12,7	12,8	12,8	12,9	12,6	12,5	12,8	12,8	12,9	12,9	13,0	12,8
M111	14,3	14,5	14,7	14,8	15,0	14,7	14,9	15,7	15,0	14,9	14,5	14,5	14,8
M605	12,5	12,2	12,3	12,5	12,8	12,4	12,3	12,7	12,8	12,4	12,4	12,4	12,5
MA2T	14,7	14,6	14,7	14,7	14,8	15,0	15,1	15,4	15,3	15,1	14,7	14,6	14,9

Fuente: Información Meteorológica del INAMHI

Los meses de agosto y septiembre son los que presentan el mayor valor de temperatura, mientras que los meses de enero y febrero son los que presentan valores ligeramente más bajos con respecto a la media anual. Las variaciones mensuales de las temperaturas no son significativas ya que su amplitud (diferencia entre los valores máximos y mínimos) está alrededor de 3°C.

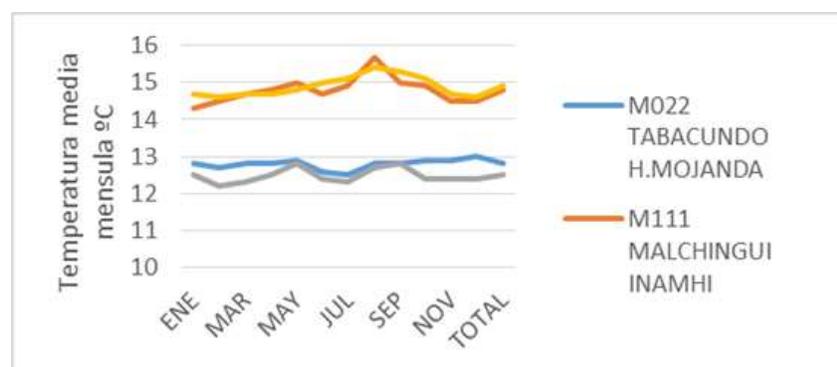


Figura 13 Temperatura media mensual

3.6 Estudio Hidrológico

En cuanto a la hidrografía del cantón Pedro Moncayo; se encuentra representada por la laguna de Mojanda y por los ríos Granobles y Pisque . La zona de estudio no presenta sistemas hídricos significativos al contar con un clima semi-árido, en épocas lluviosas se pueden formar microcuencas que desembocan al cauce principal de Rio Pisque. Las quebradas de carácter temporal más importantes son la Quebrada Guayaquil y San Calixto las cuales conforman un sistema de cárcavas producto de los agentes erosivos y asociado a la no consolidación de los materiales volcano-sedimentarios predominantes en la zona y que recogen las aguas superficiales de las precipitaciones. Los patrones de drenaje predominantes son de tipo dendrítico, lugar donde la mayoría de los tributarios no tienen aporte de los páramos del Mojanda. Por lo cual el campo hídrico no representa amenazas significativas para la ejecución de obras civiles.



Figura 14 Mapa Hidrológico Relleno Sanitario.

Fuente: Álvarez , M. et al. (2018)

3.7 Estudio Poblacional

3.7.1 Población en área urbana y rural por sexo

De acuerdo a los datos del censo INEC 2010, el cantón Pedro Moncayo presenta una población total de 33 172 habitantes en las áreas urbana y rural. En el área urbana la población es de 10059 habitantes, de los mismos 4969 son hombres y 5090 son mujeres; en cuanto al área rural la población es de 23113 habitantes, de los cuales 11342 son hombres y 11771 son mujeres.

Tabla 12
Población en el área urbana y rural por sexo

Sexo	2010				2001			
	RURAL		URBANO		RURAL		URBANO	
	Población	%	Población	%	Población	%	Población	%
Hombre	11342	49.07	4969	49.4	9604	49.28	2986	48.89
Mujer	11771	50.93	5090	50.6	9883	50.72	3121	51.11
Total	23113	100	10059	100	19487	100	6107	100

Realizando un análisis comparativo entre los datos del censo 2001 versus los datos del censo 2010, podemos evidenciar un crecimiento poblacional en el área rural, éste crecimiento porcentual es de 8,92% en el caso de los hombres, y de 9,69% en el casos de las mujeres; si promediamos ambas variaciones tenemos un crecimiento rural de 18.61%. En el área urbana se produce un incremento poblacional, así tenemos un aumento de 19,71% en el caso de los hombres y un 19,57% en el caso de la mujeres; si tomamos el total poblacional urbano tendremos un incremento promedio del 23.34%. Estas cifras en el cantón demuestran su dinámica actual, la misma responde a la necesidad de mano de obra que necesita las plantaciones florícolas para su producción.

3.7.2 Densidad poblacional

Las parroquias con mayor densidad tenemos a Tabacundo con 230 ha/km², seguido de Tupigachi con 146 ha/ km², y La Esperanza 95 ha/ km², luego a Malchinguí con 54 ha/ km², y por último Tocachi 21 ha/ km².

3.7.3 Disponibilidad de servicios básicos

Los servicios básicos, son toda clase de obras de infraestructuras indispensables para una vida digna para la población. Se reconocen como servicios básicos al abastecimiento de agua potable, alcantarillado sanitario, eliminación de excretas, alumbrado público, distribución de energía eléctrica, servicio telefónico, eliminación de desechos y otros.

En el caso del cantón Pedro Moncayo, según datos del INEC sobre servicios básicos, y el componente de interés en este proyecto, resaltamos lo siguiente la categoría de eliminación de basura.

Tabla 13

Situación de los Servicios Básicos (desechos), según área rural y urbana

CATEGORIA ELIMINACIÓN DE BASURA	CANTÓN		URBANO		RURAL	
	Caso	%	Caso	%	Caso	%
Por carro recolector	6625	76,7	2695	97,4	3930	67,0
La arrojan en terreno baldío o quebrada	500	5,8	16	0,6	484	8,3
La queman	1265	14,7	37	1,3	1228	20,9
La entierran	180	2,1	11	0,4	169	2,9
La arrojan al río, acequia o canal	16	0,2	1	0,0	15	0,3
De otra forma	47	0,5	6	0,2	41	0,7
Total	8633	100,0	2766	100,0	5867	100,0

Fuente: Censo INEC, 2010

Información que deberá ser considerada para mejorar los sistemas de transporte, recolección de residuos y sensibilización en la fuente sobre la Gestión de residuos sólidos.

3.7.4 Proyección de Población

Para efectos de determinar el volumen de desechos generados se realizó una proyección de la población urbana y rural del 2019 al 2029, utilizando la formula (3), donde se considera como año base el último censo realizado en el año 2010.

$$Pf = Po (1 + r)^n$$

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

Donde t = variable tiempo (en años)

Entonces:

$$Pf = Po (1 + r)^n$$

$$Pf = 10059 \text{ hab. } (1 + 0,0244)^8$$

$$Pf = 12199 \text{ hab.}$$

Tabla 14

Proyección Población urbana y rural 2019-2029

Años	Población urbana	Población rural	Total
2019	12199	28029	40228
2020	12496	28713	41210
2021	12801	29414	42215
2022	13114	30132	43245
2023	13434	30867	44300
2024	13761	31620	45381

CONTINÚA

2025	14097	32391	46489
2026	14441	33182	47623
2027	14793	33991	48785
2028	15154	34821	49975
2029	15524	35670	51195

3.8 Características de los desechos del cantón Pedro Moncayo

3.8.1 Generación per cápita:

Para determinar la generación de residuos sólidos se realizó un muestreo estadístico aleatorio de acuerdo a tres categorías de generación residencial, comercial e industrial. El criterio de clasificación se basa en pliego tarifario para las Empresas Eléctricas por medio del que se realiza el cobro del servicio de recolección de desechos en el Cantón Pedro Moncayo, datos que fueron proporcionados por la Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.

“Consumidor Residencial: Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza los servicios de energía eléctrica para fines uso doméstico de los consumidores, es decir, en la residencia de la unidad familiar independientemente del tamaño de la carga conectada” (Agencia de Regulación y Control de Electricidad-ARCONEL, 2016, p. 5).

“Consumidor Comercial: de negocio, actividades profesionales o cualquier otra actividad con fines de lucro” (Agencia de Regulación y Control de Electricidad-ARCONEL, 2016, p. 4).

“Consumidor Industrial: Persona natural o jurídica, pública o privada, que utiliza los servicios de energía eléctrica para la elaboración o transformación de productos por medio de cualquier proceso industrial” (Agencia de Regulación y Control de Electricidad-ARCONEL, 2016, p. 5).

Tabla 15*Resumen de categorías de usuarios por recolección de desechos*

Categoría	Nro. de Usuarios
Residencial	8759
Comercial	1102
Industrial	384
Total	10584

Fuente: Empresa Eléctrica del Norte, EMELNORTE

3.8.1.1 Cálculo de la muestra

Una vez conocido el número de usuarios de cada categoría y con la finalidad de determinar una muestra representativa de la población para el trabajo de caracterización y el proceso de validación de los datos obtenidos se utilizó la Guía para Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Organización Panamericana de la Salud (2005), la cual es aplicada para países de América Latina y el Caribe. Este procedimiento estadístico permite determinar la muestra representativa y la validación de datos obtenidos. Para determinar el cálculo de la muestra residencial y no residencial (comercial e industrial) se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 \times N \times \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \times \sigma^2} \quad (18)$$

Donde,

Parámetro	Residencial	No Residencial
n: (número de muestras)	Número de viviendas que participará en el estudio de caracterización.	Número de establecimientos que participarán en el estudio de caracterización
N: (Universo)	Total de viviendas (se debe calcular el número de viviendas que existe en el periodo que se realizará el estudio)	Total de establecimientos

σ : (Desviación estándar)	Cuando no se tenga información el valor de desviación estándar a usar es de 0,25. Si se cuenta con un estudio anterior, considerar la desviación estándar calculada en ese estudio
$Z_{1-\alpha/2}$ (Nivel de confianza)	Es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos. Los valores de Z_{α} se obtienen de la tabla de la distribución normal. Generalmente se trabaja con un nivel de confianza al 95% para lo cual $Z_{1-\alpha/2}$ tiene un valor de 1,96
E: (Error permisible)	10% del GPC nacional actualizada a la fecha de ejecución del estudio

Posterior a establecer la muestra se realizó las encuestas correspondientes a cada residencia y la socialización del proceso de caracterización a realizarse, ANEXO 1:

a) Cálculo de la muestra residencial

Utilizando la fórmula propuesta por la Organización Panamericana de Salud (OPS); para una población de 8759 viviendas, error del 10% del ppc (referencia) y desviación estándar de 0,25, el número de viviendas a analizar es de $N=70$

$$N = \frac{(1,96)^2 \times 8759 \times (0,25)^2}{(8758)(0,058)^2 + (1,96)^2 \times (0,25)^2}$$

$$N = 70 \text{ residencias}$$

Adicionalmente, es necesario considerar un incremento en el tamaño calculado de la muestra, con la finalidad de asegurar la confiabilidad del estudio, ya que durante el proceso de muestreo pueden desertar la participación algunas viviendas, otras pueden presentar una participación

inconstante, o durante el análisis de las muestras se pueden detectar muestras que no son representativas.

Tabla 16

Número de muestras residencial (urbano y rural) por distribución de parroquia

Nombre de parroquia	Población		Muestras (unidades)		
	Total	Distribución (%)	Total	Urbana	Rural
Tabacundo	16.403	49	35	11	24
La Esperanza	3.986	12	9	3	6
Malchingui	4.624	14	10	3	7
Tocachi	1.985	6	4	1	3
Tupigachi	6.174	19	13	4	9
Total	33.172	100	70	22	48

Una vez definido el tamaño de muestra se llevó a cabo el procedimiento detallado en la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios Metodología para el análisis de la basura (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2005).



Figura 15 Levantamiento de información-muestra residencial

b) Cálculo de la muestra comercial

Para determinar el número de establecimientos comerciales que existen dentro del Cantón Pedro Moncayo se realizó una entrevista con la Dirección de Desarrollo Institucional y Desarrollo Económico del GAD Municipal de Pedro Moncayo, la misma que proporcionó información para la selección de establecimientos la misma que se relacionó con la base de datos del catastro comercial de la tasa de recolección de residuos proporcionada por la Empresa distribuidora de energía, por lo tanto la fórmula para determinar el número de muestras comerciales es:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 1044 \times (0,25)^2}{(1043)(0,1)^2 + (1,96)^2 \times (0,25)^2}$$

$$n = 24 \text{ comercios}$$

Tabla 17

Número de muestras comercial por distribución de parroquia

Parroquia	Nro. de Usuarios	% Distribución	Nro. de muestras
Tabacundo	759	73	17
La Esperanza	71	7	2
Malchingui	109	10	2
Tocachi	27	3	1
Tupigachi	78	7	2



Figura 16 Levantamiento de Información –muestra residencial

Una vez determinado el número de muestras y distribución por parroquia se desarrolló la socialización con cada comercio a fin de receptar las muestras durante 7 días, ANEXO 1.

c) Calculo de la muestra industrial

Para determinar el número de muestras industriales para el presente estudio, se realizó una revisión de la base de datos de la Dirección de Gestión Ambiental, la misma que mantiene un catastro de las actividades económicas del cantón. Este catastro se comparó con la base de datos proporcionada por la empresa distribuidora de Energía.

Por lo tanto:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times 383 \times (0,25)^2}{(383)(0,014)^2 + (1,96)^2 \times (0,25)^2}$$

$$n = 16 \text{ Industrias}$$

Tabla 18
Clasificación de las actividades industriales en el Cantón

Actividades industriales (floricolas)	Nro. de Usuarios	Distribución de la muestra
Pequeñas (<1ha)	250	10
Medianas (1-15ha)	117	5
Grandes (>15ha)	16	1*

Nota: *en el caso del número de muestras de la clasificación industrial se tomó mayor número de muestra.

Una vez determinado el número de muestras y distribución por actividad económica se desarrollo la socialización con cada industria con la finalidad de receptar las muestras durante 7 días ANEXO 1.

Definido el tamaño de la muestra y los sectores o estratos de distribución, se realiza la ubicación espacial de las viviendas; esto se efectúa de forma aleatoria en cada estrato y considerando que estén lo más dispersas posible. Esta es una distribución preliminar, que se ajustará cuando se realice las visitas en campo para verificar la posibilidad de muestrear en ese sitio y conocer la voluntad del involucrado para participar en el proceso y levantamiento de la información.

3.8.1.2 Procedimiento para la determinación de la producción per cápita.

Para determinar la cantidad de residuos sólidos domiciliarios que se generan en cada zona de estudio es necesario:

- Pesar las fundas con los residuos sólidos domiciliarios
- Identificar el código o número de la funda
- Registrar el resultado en el formato establecido
- Determinar la producción per cápita en el formato establecido

- Registrar y pesar los residuos para la determinación de la Densidad de los residuos. Este procedimiento se realizara durante los 7 días para todas las muestras y registrará los resultados, la muestra del primer día será desechada y el registro se llevará desde el segundo día. Este proceso representa la cantidad de basura que se genera por día por cada tipo de generador (kg/generador/día.). Para esto se utilizará una balanza de 0 a 50 kg.
- Determinación de la generación promedio por tipo generador (residencia, comercio, industria, etc..), se elabora una hoja considerando empadronados, días de muestreo, número de habitantes y se determina la producción per cápita por día (Ver tabla 19).
- Se realiza la sumatoria de los pesos en los 6 días, se obtiene el valor promedio y se divide para el número de habitantes, con lo que se determina la producción per cápita por generador, expresado en kg/hab./día.



Figura 17 Pesaje de muestras

3.8.1.3 Resultados del estudio de generación por categorías

Una vez que se han tabulado los datos de las categorías residencial, comercial e industrial (ANEXO 2,3,4 y 5), con sus respectivos pesajes diarios por muestra se obtiene lo siguiente:

a) Generación per cápita kg/hab./día. residencial urbano

La tabulación de datos de la generación per cápita urbano (ANEXO 2), se consolidó con el registro de los pesos diarios de cada muestra, durante 7 días (1er día desechada). Posterior a ello se calcula el promedio del peso de las muestras diarias y finalmente el ppc, con la división del promedio para el número de habitantes por muestra.

Tabla 19

Ejemplo tabulación de datos categoría residencial urbano

No	Código	Código Catastral	# de Habitant	Peso (Kg)						Promed.	ppc
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6		
1	TU1	Urbano	6	2,75	6,50	4,75	2,75	0,50	7,00	24,25	0,67
2	TU2	Urbano	4	2,50	3,00	1,50	2,75	1,00	0,88	11,63	0,48

Como se puede apreciar en el ANEXO 2a y figura 18, la dispersión es alta, por lo que se ordena los valores de forma ascendente de menor a mayor y se calcula la varianza, desviación estándar y valor promedio. Con estos valores se procede a calcular la relación entre el valor promedio total y el promedio obtenido por cada muestra.

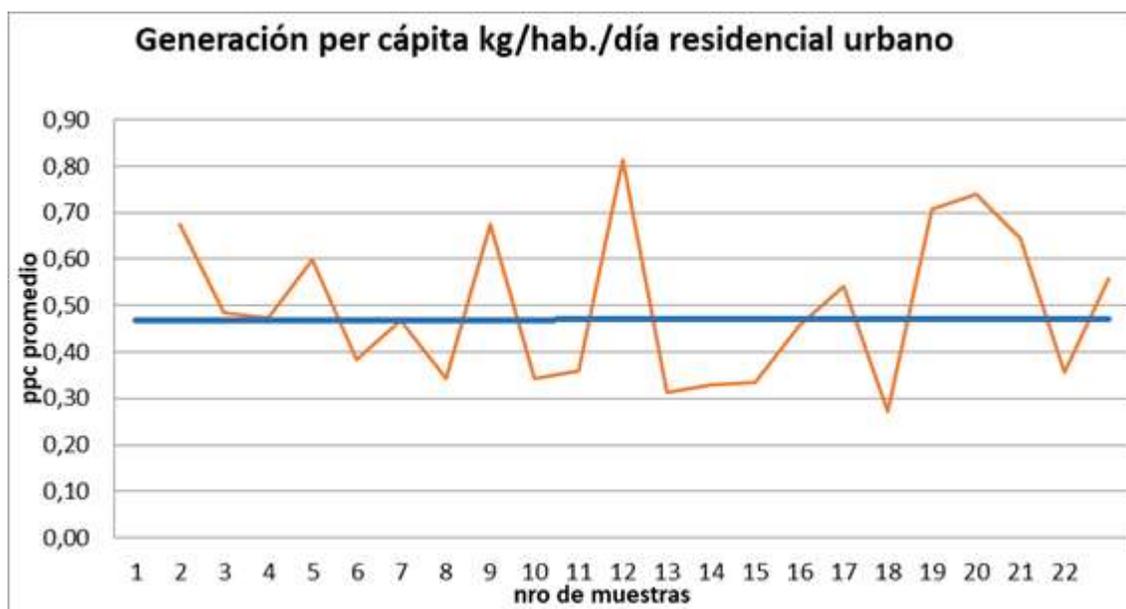


Figura 18 Distribución de muestras residencial urbano

Con los datos ordenados y una vez calculados los valores estadísticos de la información, se marca los valores que se encuentran fuera de los rangos $X-S$ y $X+S$, datos considerados como sospechosos o fuera del rango de la muestra, así:

Tabla 20

Datos estadísticos de la tabulación de la ppc. residencial urbano.

Dato estadístico	Fórmula	Resultado
Promedio	\bar{X}	0,49
Varianza(S)	$S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}$	0,0255
Desviación	$d = \sqrt{\text{varianza}}$	0,1609
Cálculo de las muestras sospechosas	$(\bar{X}-S)$	0,33
	$(\bar{X}+S)$	0,66

Tabla 21*Valores generados de ppc urbano y ordenandos de forma ascendente*

Nro. de vivienda	Promedio (X)	Generación per cápita (Xm)
1	2,19	0,27
3	1,31	0,33
4	1,33	0,33
5	1,03	0,34
6	1,38	0,34
7	2,15	0,36
8	1,8	0,36
9	2,31	0,38
10	0,92	0,46
11	1,4	0,47
12	1,42	0,47
13	1,94	0,48
14	1,63	0,54
15	2,23	0,56
16	1,79	0,60
17	1,29	0,65
18	4,04	0,67
19	2,02	0,67
20	4,25	0,71
21	1,48	0,74
22	0,81	0,81

Fuente: Propia

Se descarta estos valores remarcados y se vuelve a realizar el procedimiento antes descrito: se ordena la nueva muestra, se calcula el valor promedio, varianza, desviación estándar y los nuevos rangos comprendido entre $X-S$ y $X+S$, con lo que se obtiene:

Tabla 22*Recálculo eliminando las muestras sospechosas*

Nro. de vivienda	Promedio	PPC
1	1,31	0,33

CONTINÚA

2	1,33	0,33
3	1,03	0,34
4	1,38	0,34
5	2,15	0,36
6	1,80	0,36
7	2,31	0,38
8	0,92	0,46
9	1,40	0,47
10	1,42	0,47
11	1,94	0,48
12	1,63	0,54
13	2,23	0,56
14	1,79	0,60
15	1,29	0,65
Promedio		0,45
Varianza		0,010
Desviación		0,101
Nivel de Confianza		99,0%

Se verifica en nivel de confianza, en el caso de muestreo de residencial urbano es de 99% por lo tanto nos indica que no es necesario realizar otra re cálculo.

El procedimiento antes descrito se realiza para todas las categorías de generación del estudio en mención (ANEXO 3,4 y 5), con un nivel alto de confiabilidad por la metodología aplicada.

Tabla 23

Generación per cápita residencial, comercio e industria.

Categoría	Generación per cápita (kg/día)	Nivel de confianza
Residencial		
Urbano	0,45	99,0%
Rural	0,27	99,0%
Comercial	0,69	98,0%

CONTINÚA

Industrial

Pequeñas	2,20	*
Medianas	3,68	*
Grandes	10,03	*

Nota: Para el cálculo de la generación industrial no se puede aplicar la metodología de eliminación de muestras sospechosas, se realiza un promedio.

3.8.2 Composición de los desechos.

Para la determinación de la cantidad y composición de los residuos sólidos se utilizó la Norma Mexicana NMX-AA-15-1985, esta norma establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio. Para el efecto se caracterizó los residuos de acuerdo a la zona residencial, industrial y comercial siguiendo el siguiente procedimiento:

Para realizar el cuarteo, se toman las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos, resultado del estudio de generación según la Norma Mexicana NMX-AA-15 (1992): El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo. El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o biello, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D, y se eliminan las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 Kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos. Los residuos acumulados se los mezcla, se trozan los residuos voluminosos y se los traspalea hasta homogeneizarlos y hacerlos manipulables

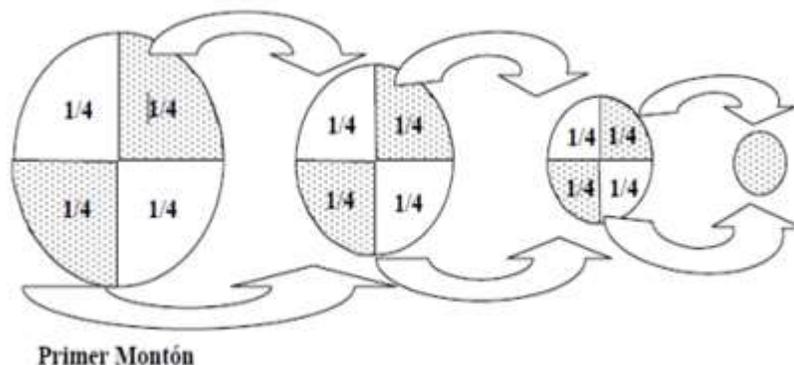


Figura 19 Método del cuarteo de la muestra

Los residuos se clasifican de acuerdo al siguiente detalle

- Cartón: considerando materiales de empaque liso, rugoso, natural.
- Latas: de hierro y aluminio
- Madera: sea como materiales de desechos de utensilios domésticos, pero no escombros de construcción
- Papel: en todas sus formas
- Pañales: desechables sencillos o con gelatinizador de líquidos
- Plástico o polietileno de baja densidad: con el que fabrican la mayoría de fundas de color o transparentes Plástico rígido: dentro del cual se encuentran el polietileno (PET), polietileno de alta densidad (HDPE), el cloruro de polivinilo (PVC), poliuretano, plásticos.
- Residuos alimenticios: provenientes de las casas, restaurantes y/o centros de servicio.
- Residuos de jardinería: como pasto, materiales de poda, hojarasca etc.
- Telas: de origen vegetal

- Vidrio de color: ámbar, verde, azul, rojo



Figura 20 Aplicación del método de cuarteo

Se debe repetir el procedimiento durante los siete días que dura el muestreo de los residuos. Hay que recordar que de los siete días iniciales que dura el muestreo, se elimina la muestra del primer día por no considerarla útil, el promedio de todos los días corresponde al porcentaje de generación por cada subproducto.

3.8.1.4 Resultados de la composición de desechos

Con 50 Kg de residuos sólidos como mínimo de las porciones B y D del cuarteo, se realizó la separación de subproductos, depositándose en bolsas de polietileno para pesarlo posteriormente. Concluida la clasificación de los componentes, se realiza el pesaje y registro de los datos en el formulario de composición de residuos sólidos. Se calcula el porcentaje de cada componente de

acuerdo a la formula (4) teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (G_t) y el peso de cada componente (G_1):

$$PS = \left(\frac{G_1}{G_t} \right) * 100$$

Donde,

PS = Porcentaje del subproducto considerado

G_1 = Peso del subproducto considerado, Kg

G_t = Peso Total de la muestra (mínimo 50 Kg)

Entonces, por ejemplo el subproducto orgánico del residencial urbano, es de:

$$PS = \left(\frac{G_1}{G_t} \right) * 100$$

$$PS = \left(\frac{52,75}{81,86} \right) * 100$$

$$PS = 64,58\%$$

El registro de pesos diarios se encuentra en el ANEXO 6, y el detalle resumen se encuentra detallado en la tabla 24,25 y 26.

Tabla 24
Composición física de desechos categoría residencial

Tipo de Residuo	Composición Urbano	Composición Rural
Orgánico	64,58%	34,68%
Papel	1,84%	3,66%
Cartón	3,06%	4,92%
Plástico rígido	4,16%	9,90%
Plástico suave	5,91%	12,80%
Madera	0,52%	0,00%
Vidrio	2,79%	1,67%
Chatarra	1,41%	2,06%

CONTINÚA

Pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias	11,69%	25,34%
Caucho	1,10%	0,00%
Textil	2,02%	4,98%
Otros	0,92%	0,00%

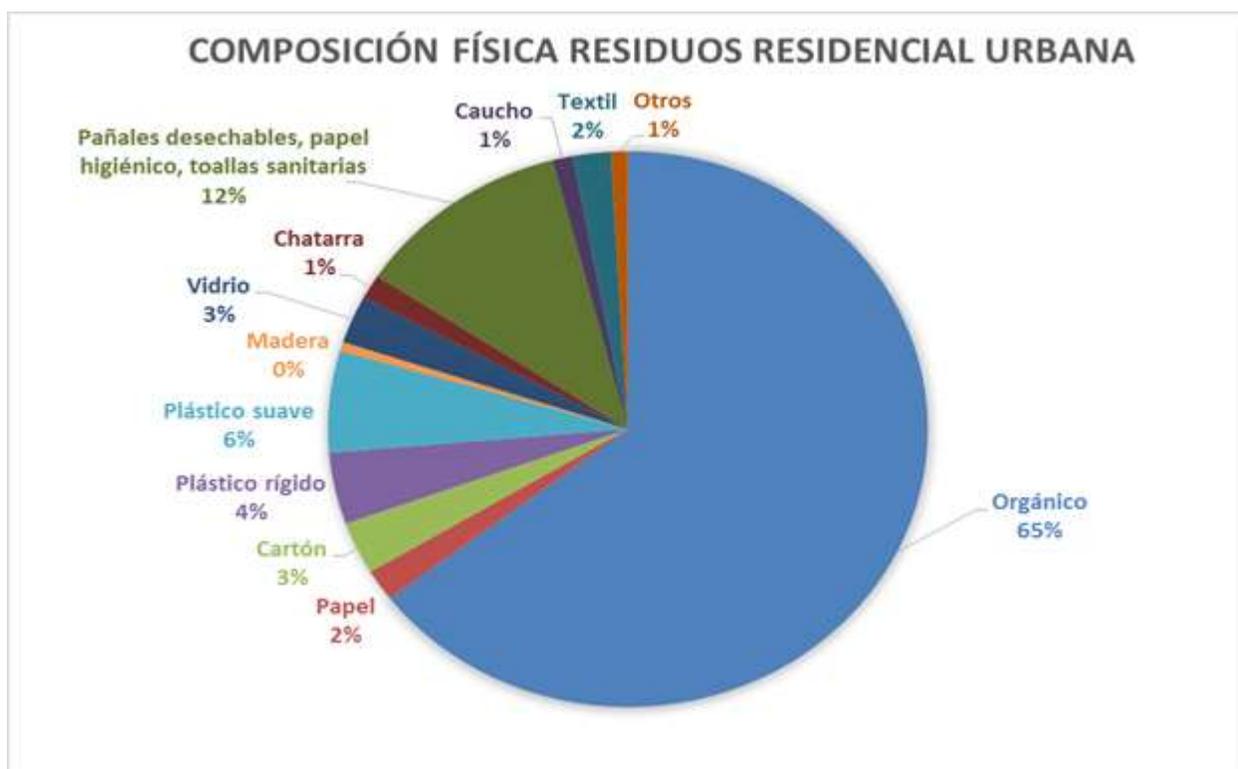


Figura 21 Composición física residencial residuos urbanos

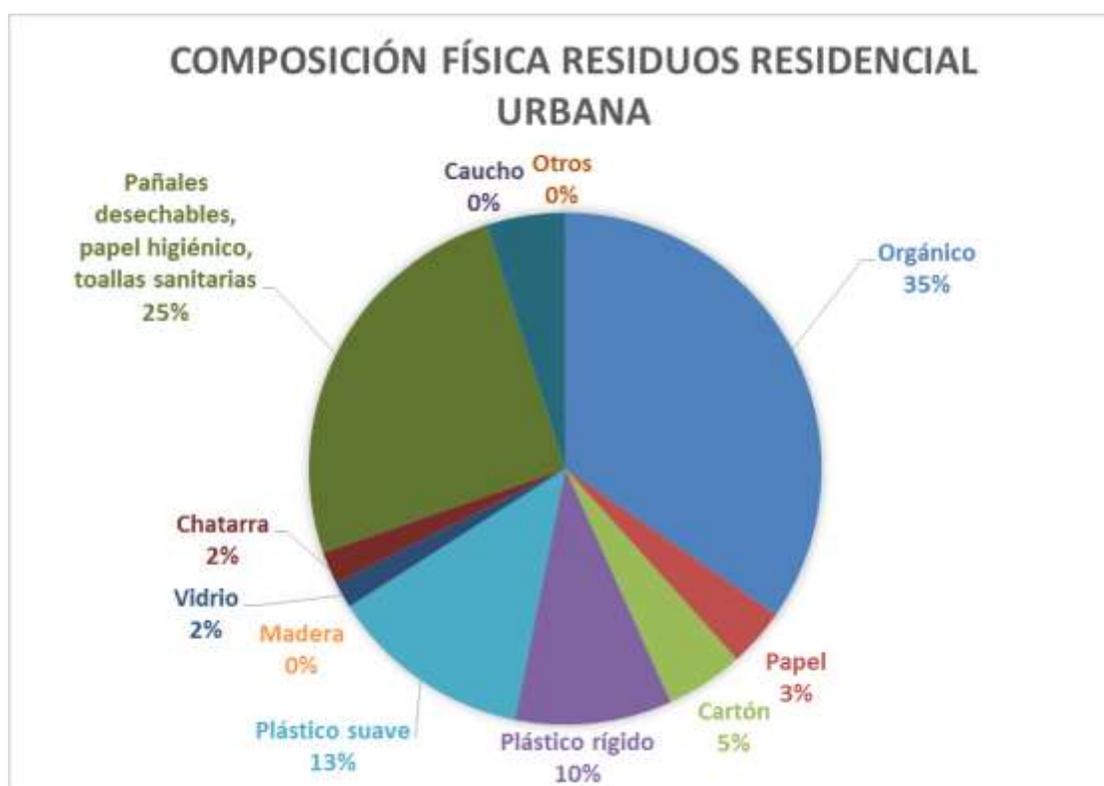


Figura 22 Composición física residencial residuos urbanos

Tabla 25

Composición física de desechos categoría comercial

Tipo de Residuo	Composición Comercial
Orgánico	11,31%
Papel	8,41%
Cartón	23,99%
Plástico rígido	9,31%
Plástico suave	15,19%
Vidrio	6,36%
Chatarra	8,11%
Tetrapack	1,43%
Textiles	9,05%
Pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias	2,95%
Otros	3,89%

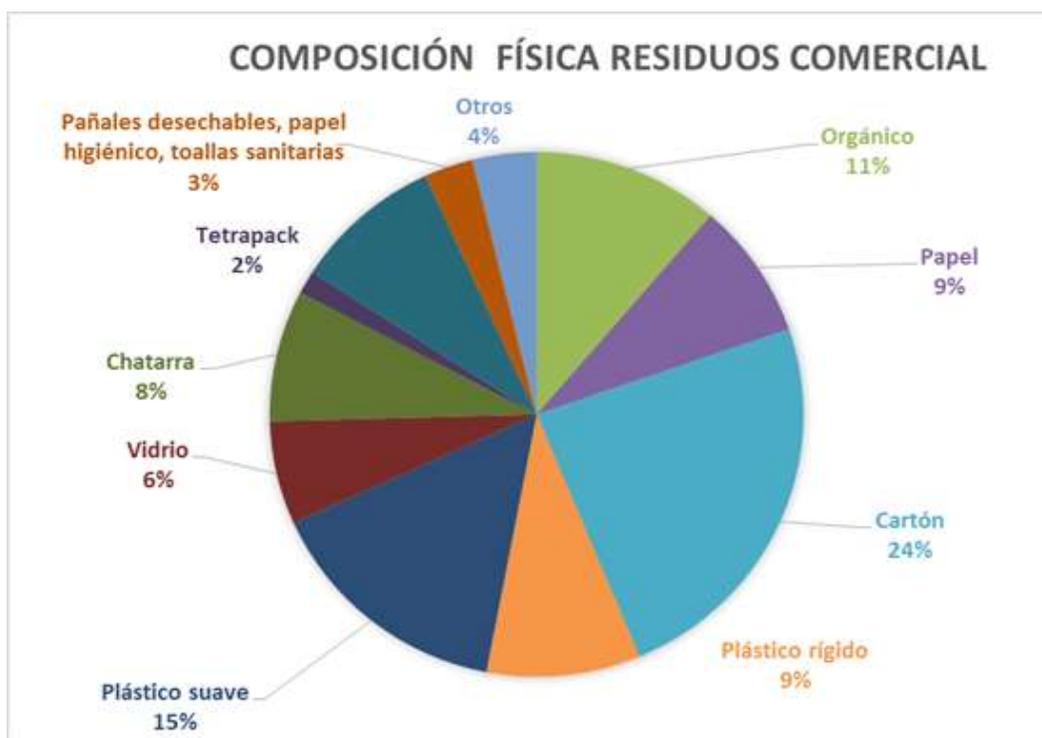


Figura 23 Composición física residuo comercial

Tabla 26
Composición física de desechos categoría industrial

Tipo de Residuo	Composición Comercial
Orgánico	13,54%
Papel	9,58%
Cartón	45,11%
Plástico rígido	3,82%
Plástico suave	6,78%
Vidrio	2,02%
Chatarra	1,29%
Tetrapack	0,35%
Textiles	5,96%
Pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias	8,36%
Cuero	0,13%
Latas	0,13%
Otros	2,92%

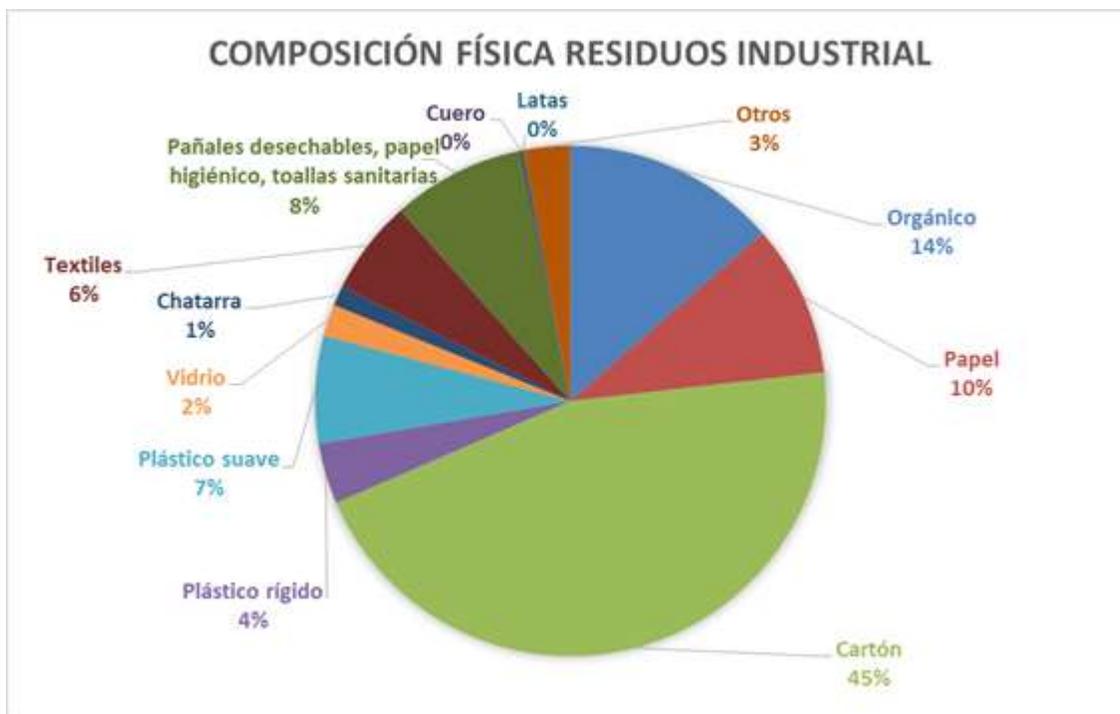


Figura 24 Composición física residuos industriales

3.8.3 Peso volumétrico

Para determinar el peso volumétrico "in situ", se tomó los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo, para ello se aplicó la Norma Mexicana NMX—AA-19-1985 (1992); antes de efectuar la determinación se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada. A continuación se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente. En caso dado de no conocer la capacidad del recipiente, ésta se determina a partir de las formulaciones aritméticas existentes, según sea la geometría de dicho recipiente.

A continuación, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Mexicana NMX-AA15; se golpea el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm. Nuevamente se agrega los residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar. Finalmente se procede a pesar el recipiente con el material contenido, por diferencia del peso vacío, se obtiene el peso de la basura contenida (W). Con la altura del tanque y la altura de residuos contenida se calcula el volumen de los residuos.

Se calcula la densidad de (S) utilizando la fórmula (6):

$$S = \frac{W}{V}$$

Donde,

S = Densidad (kg/m³)

W = Peso de los residuos sólidos (kg)

V = Volumen de los residuos sólidos (m³)

3.8.1.5 Resultado del peso volumétrico

El cálculo del peso volumétrico de las diferentes categorías se encuentra en el ANEXO 7, y el resultado del peso volumétrico in situ de las diferentes se detalla a continuación:

Tabla 27

Resumen de Peso Volumétrico de las diferentes categorías

Categoría	Peso Volumétrico (kg/m³)
<i>Residencial</i>	
Urbano	226,55

CONTINÚA

Rural	115,39
Comercial	120,39
Industrial	163,09

3.8.4 Cantidad y proyección de los desechos generados.

Para estimar la cantidad de residuos generadores de acuerdo a las tres categorías residencial, comercial e industrial, se aplicó la ecuación (5) y se ha tomado en cuenta un incremento anual del 1% de la producción per cápita, por lo tanto, la generación para el periodo 2019-2029 se obtienen a partir de:

$$Dsd = Pob \times ppc$$

Donde,

Dsd= Cantidad de RSU producidos por día (kg/día)

Pob= 12199 habitantes residencial urbano

ppc= 0,45 producción habitante día residencial urbano (kg/hab./día)

Entonces,

$$Dsd= 5544,28 \text{ kg/día} = 5,54 \text{ ton/día}$$

Tabla 28

Generación total (ton/día) en el cantón Pedro Moncayo

Año	PPC urbana (Kg/hab*día)	Generación urbana (Ton/día)	PPC rural (Kg/hab*día)	Generación rural (Ton/día)	Generación Industrias (Ton/día)	Generación Comercio (Ton/día)	Generación total (Ton/día)
2019	0,45	5,54	0,27	7,64	1,50	0,76	15,44
2020	0,46	5,74	0,28	7,91	1,51	0,77	15,93
2021	0,46	5,94	0,28	8,18	1,54	0,80	16,46
2022	0,47	6,14	0,28	8,47	1,57	0,83	17,01
2023	0,47	6,35	0,28	8,76	1,60	0,86	17,57
2024	0,48	6,57	0,29	9,06	1,63	0,89	18,15

CONTINÚA

2025	0,48	6,80	0,29	9,38	1,66	0,92	18,76
2026	0,49	7,04	0,29	9,70	1,69	0,95	19,38
2027	0,49	7,28	0,30	10,04	1,72	0,98	20,02
2028	0,50	7,53	0,30	10,39	1,75	1,01	20,68
2029	0,50	7,79	0,30	10,75	1,78	1,04	21,36

3.8.5 Cálculo de volumen necesario

Para el cálculo del volumen necesario para el relleno sanitario ocupado por residuos se empleó la fórmula (7), según el Manual de diseño de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/CEPIS, 2002):

$$V_{\text{basura}} = \text{ppc} \times N \times 365 \times \frac{t}{\rho}$$

Donde:

V basura=Volumen de basura

ppc= 0,45 kg/hab./día

N= 12199 habitantes residencial urbano

t= 10 (años)

ρ = 500 (kg/m³)

El mismo cálculo se realiza para la categoría residencial rural, comercial e industrial, por lo tanto el volumen de residuos para los 10 años de vida útil del relleno sanitario corresponde a:

$$V_{\text{basura}} 10 \text{ años} = 146591,14$$

Tabla 29
Volumen de disposición final 2019-2029

Año	Disposición final (Ton/día)	Volumen residuos (m ³ /día)	Volumen residuos (m ³ /año)
2019	15,44	30,89	11274,50
2020	15,93	31,87	11632,20
2021	16,46	32,93	12019,10
2022	17,01	34,03	12420,60
2023	17,57	35,15	12829,40
2024	18,15	36,31	13252,80
2025	18,76	37,53	13698,10
2026	19,38	38,77	14150,70
2027	20,02	40,05	14617,90
2028	20,68	41,37	15099,70
2029	21,36	42,73	15596,10
		Total	146591,14

3.8.6 Cálculo de celda diaria.

Para el diseño de la celda diaria se consideró la generación del primer año es decir 15,44 tn/día, esta producción se prevé un incremento del 1% anual, es decir cumplido el periodo de diseño para el año 2029, se proyecta una generación de 21,36 tn/día. Para el cálculo de la celda diaria se tomó en cuenta las recomendaciones de Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales (Jaramillo, 2002) y el Manual de Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios en Honduras (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014).

Con las consideraciones antes señaladas la celda tipo para el año 2019 receptorá un volumen de desechos de 30,89 m³/día, el frente de trabajo será de 3m el cual permitirá la descarga de los vehículos recolectores y asegurará el uso eficiente del equipo de compactación. La altura considerada para la celda diaria será de 1m, para asegurar la compactación considerando que este

relleno se encuentra dentro de la clasificación de semi-mecanizado. Una vez definido los parámetros de altura y frente de trabajo se concluye con el avance diario que para este caso será de 10,30m. La pendiente de los taludes laterales y frontales recomendada será de 1:3, lo que corresponde a un ángulo de 18,4°, factor que asegura el desempeño de los equipos compactadores.

Con respecto al material de cobertura se ha considerado la recomendación de 0.15 m de espesor para evitar la reproducción de la larva de la mosca, el volumen del material de cobertura para la celda tipo del año 2019 es de 11,91 m³/día

Tabla 30

Resumen de parámetros relleno, celda diaria tipo 2019 y cobertura de celda diaria.

Parámetros relleno	valores	unidades
Vida útil	10	años
Peso desechos (10 años)	73295,57	Ton/vida útil
Ton relleno (Promedio)	18,26	Ton/día
Densidad compactación en relleno	500,00	Kg/m ³
Vol. relleno residuos (10 años)	146591,14	m ³ /vida útil
Vol. material de cobertura (10 años)	55343,44	m ³ /vida útil
Volumen total de residuos+cobertura	201934,59	m ³ /vida útil
Celda diaria de relleno 2019		
Volumen relleno desechos 2019	30,89	m ³ /día
Pendiente talud (18,4 grados)	3,00	(H/V)
Alto de desechos	1,00	m
Ancho o frente de trabajo desechos	3,00	m
Largo desechos	10,30	m
Cobertura de celda diaria*		
Espesor de cobertura	0,15	m
volumen cobertura superior de la celda	4,63	m ³
volumen de cobertura talud frente de trabajo	1,64	m ³
volumen cobertura talud lateral	5,64	m ³
volumen de material cobertura	11,91	m ³ /día

Nota: *Ver cálculo cobertura en el ANEXO 8

Las celdas diarias dispuestas para el periodo 2019-2029, receptaran un total de 201934,59 m³, para el efecto se construirá celdas diarias de las siguientes dimensiones:

Tabla 31*Detalle celdas diarias 2019-2029*

Año		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
	Volumen (m3)	30,89	31,87	32,93	34,03	35,15	36,31	37,53	38,77	40,05	41,37	42,73
Residuos	Alto (m)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Ancho o frente de trabajo (m)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
	Largo (m)	10,30	10,62	10,98	11,34	11,72	12,10	12,51	12,92	13,35	13,79	14,24
	Espesor (m)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Cobertura superior (m3)	4,63	4,78	4,94	5,10	5,27	5,45	5,63	5,82	6,01	6,21	6,41
Material de cobertura	Talud frente de trabajo (m3)	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64	1,64
	Talud lateral (m3)	5,64	5,82	6,01	6,21	6,42	6,63	6,85	7,08	7,31	7,55	7,80
	Volumen (m3)	11,91	12,24	12,59	12,96	13,33	13,72	14,12	14,54	14,96	15,40	15,85
Total residuos+ cobertura (m3/día)		42,80	44,11	45,52	46,99	48,48	50,03	51,65	53,30	55,01	56,77	58,58
Total residuos+ cobertura (m3/año)		15623	16100	16616	17151	17695	18260	18853	19456	20079	20721	21382
Total residuos+ cobertura acumulada (m3/año)		15623	31723	48339	65490	83185	101444	120297	139753	159832	180553	201935

3.8.7 Calculo del área requerida

Con el volumen se puede estimar el área requerida para la utilización del relleno sanitario, conociendo la profundidad de los cubetos de disposición final a partir de la siguiente ecuación (8):

$$Ars = \frac{Vrs}{hrs}$$

Donde,

Vrs = 201934,59 volumen de relleno sanitario (m3/10 años)

Ars = área por rellenar sucesivamente (m2)

hrs = 12,85m y 19,55m, altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

Entonces;

Cubeto Nro. 1 (existente), diseñado para 3 años de operación requiere receptor un total de $48339,96m^3$

$$Ars1 = \frac{48339,96 m^3}{12,85 m}$$

$$Ars1 = 3761,78 m^2 \cong 0,37 ha$$

Cubeto Nro. 2 (nuevo), diseñado para 7 años de operación requiere receptor un total de $153595,63m^3$

Se considera 3 niveles, altura total 19,55m

$$Ars2 = \frac{153595,63}{19,55 m}$$

$$Ars2 = 7856,55 m^2 \cong 0,79 ha$$

Entonces,

$$A_{total} = Ars1 + Ars2$$

$$Ars = 0,37 ha + 0,79 ha = 1,16 ha$$

Por lo tanto, el volumen utilizado por los residuos sólidos+cobertura en 10 años será de $201934,59 m^3$, distribuidos en 2 cubetos de disposición final de alturas de 12,85 m y 19,55m y el área utilizada será de 1,16 ha.

3.8.8 Producción de Gases

Para estimar la producción de gases de los desechos que ingresan al relleno sanitario se consideró la metodología de Tchobanoglous et al. (1994); para el efecto, se construyó una tabla de distribución porcentual de acuerdo a su composición física determinada en el muestreo y el

porcentaje en peso (base seca) de acuerdo a la Tabla 3., se clasificó en dos grupos: 1) aquellos materiales que se descomponen rápidamente (tres a cinco años) y 2) aquellos materiales que se descomponen lentamente (hasta 50 años o más), de acuerdo a la Tabla 6 de composición en CHON y S considerando que son los elementos más comunes en la composición de la materia.

Tabla 32

Distribución porcentual de los elementos que componen los desechos que ingresan al relleno sanitario del Cantón Pedro Moncayo.

Componentes		Peso (%)	Humedad (%)	Peso seco (kg)	Peso agua (kg)	C	H	O	N	S y cenizas
Rápidamente biodegradables	Orgánico	39,59	70,00	11,88	27,71	5,70	0,76	4,47	0,31	0,64
	Papel	4,36	6,00	4,10	0,26	1,78	0,24	1,82	0,01	0,25
	Cartón	12,74	5,00	12,11	0,64	5,33	0,71	5,40	0,04	0,63
	TOTAL	56,69	81,00	28,08	28,61	12,81	1,71	11,68	0,36	1,52
Lentamente biodegradables	Madera	0,17	20,00	0,13	0,03	0,07	0,01	0,06	0,00	0,00
	Vidrio	2,19	2,00	2,14	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	2,12
	Chatarra	1,84	3,00	1,78	0,06	0,08	0,01	0,08	0,00	1,61
	Textil	4,31	10,00	3,88	0,43	2,13	0,26	1,21	0,18	0,10
	Caucho	0,35	2,00	0,35	0,01	0,24	0,03	0,00	0,01	0,07
	Cuero	0,03	2,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
	Otros	0,95	8,00	0,88	0,08	0,23	0,03	0,02	0,00	0,60
TOTAL	4,19	3,15	4,06	0,13	0,16	0,02	0,14	0,00	3,73	

Posterior se realizó el cálculo de la composición molar de los elementos despreciando Azufre y ceniza. Para el cálculo de la composición se debe considerar las masas atómicas de los elementos.

Tabla 33

Composición molar de los elementos constituyentes del gas.

	C	H	O	N
g/mol	12,01	1,01	16,00	14,01
Total moles				
Rápidamente descomponible	1,0663	1,6951	0,7300	0,0255
Lentamente descomponible	0,0131	0,0206	0,0089	0,0003

Con este insumo se puede determinar la fórmula química aproximada mediante la construcción de una tabla de cálculos para determinar las relaciones normalizadas mol.

Tabla 34
Relaciones normalizadas de mol

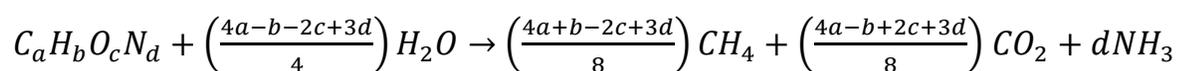
Componente	Relación mol (nitrógeno=1)	
	Rápidamente biodegradables	Lentamente biodegradables
Carbono	42	44
Hidrogeno	66	69
Oxigeno	29	30
Nitrógeno	1	1

Fuente: Propia

Por lo tanto, las formulas químicas sin azufre son:

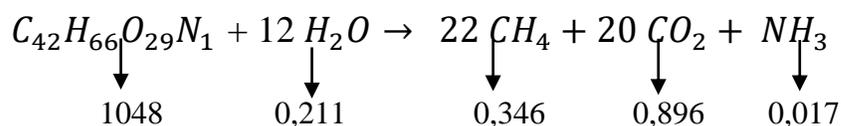


El volumen de gases emitidos durante la descomposición anaerobia se estimó de acuerdo a la sustitución de los coeficientes de la fórmula (11), suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables:

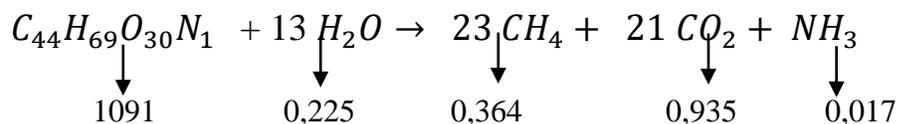


Las fórmulas químicas representantes de la reacción son:

1) Rápidamente descomponible:



2) Lentamente descomponible



Para determinar el volumen de metano y dióxido de carbono, constituyentes principales encontrados en el relleno sanitario se realiza la siguiente relación:

Rápidamente descomponible:

- Agua consumida en el proceso = $\frac{0,211 \text{ moles } H_2O}{1,048 \text{ kg/mol}} = 0,202 \text{ kg } H_2O$
- Metano generado = $\frac{0,346 \text{ moles } CH_4}{1,048 \text{ kg/mol}} = 0,330 \text{ kg } CH_4$
- Dióxido de carbono generado = $\frac{0,855 \text{ moles } CO_2}{1,048 \text{ kg/mol}} = 0,855 \text{ kg } CO_2$
- Amoniacó generado = $\frac{0,017 \text{ moles } NH_3}{1,048 \text{ kg/mol}} = 0,016 \text{ kg } NH_3$

Lentamente descomponible:

- Agua consumida en el proceso = $\frac{0,225 \text{ moles } H_2O}{1,091 \text{ kg/mol}} = 0,206 \text{ kg } H_2O$
- Metano generado = $\frac{0,364 \text{ moles } CH_4}{1,091 \text{ kg/mol}} = 0,334 \text{ kg } CH_4$
- Dióxido de carbono generado = $\frac{0,935 \text{ moles } CO_2}{1,091 \text{ kg/mol}} = 0,857 \text{ kg } CO_2$
- Amoniacó generado = $\frac{0,017 \text{ moles } NH_3}{1,091 \text{ kg/mol}} = 0,016 \text{ kg } NH_3$

Se debe tomar en cuenta los pesos específicos del metano y del dióxido de carbono: 0,717 y 1,987 kg/m³, respectivamente para calcular el volumen de gas producido por los constituyentes

principales CH_4 y CO_2 . Para el efecto se realiza la relación del metano generado y el dióxido de carbono generado en la masa (kg) de cada grupo, es decir;

Rápidamente descomponible (RSRD):

- Metano generado = $\frac{0,330 \text{ kg } CH_4 \times \left(\frac{28,08 \text{ kg peso en seco RSRD}}{60,9 \text{ kg peso RS}} \right)}{0,717 \text{ kg/m}^3} = 0,212 \text{ m}^3 CH_4$
- Dióxido de carbono generado = $\frac{0,855 \text{ kg } CO_2 \times \left(\frac{28,08 \text{ kg peso en seco RSRD}}{60,9 \text{ kg peso RS}} \right)}{1,987 \text{ kg/m}^3} = 0,199 \text{ m}^3 CO_2$

Total de gas producido = $0,212 \text{ m}^3 CH_4 + 0,199 \text{ m}^3 CO_2 = 0,411 \text{ m}^3$

Lentamente descomponible (RSLD):

- Metano generado = $\frac{0,334 \text{ kg } CH_4 \times \left(\frac{4,06 \text{ kg peso en seco RSLD}}{60,9 \text{ kg peso RS}} \right)}{0,717 \text{ kg/m}^3} = 0,031 \text{ m}^3 CH_4$
- Dióxido de carbono generado = $\frac{0,857 \text{ kg } CO_2 \times \left(\frac{4,06 \text{ kg peso en seco RSLD}}{60,9 \text{ kg peso RS}} \right)}{1,987 \text{ kg/m}^3} = 0,029 \text{ m}^3 CO_2$

Total de gas producido = $0,031 \text{ m}^3 CH_4 + 0,029 \text{ m}^3 CO_2 = 0,060 \text{ m}^3$

Para calcular la tasa máxima de producción de gas utilizando el modelo triangular de producción de gas, para los residuos rápidamente durante un período de 5 años (referencia figura 5) y lentamente biodegradables para un periodo de 15 años (referencia figura 6), se realiza lo siguiente:

Total del gas producido (m^3)

$$= \frac{\text{base (año)} \times \text{altura, tasa mas alta de producción de gas } \left(\frac{m^3}{a} \text{ año} \right)}{2}$$

$$\text{tasa mas alta de producción de gas (m}^3\text{/año)} = \frac{0,411 \text{ m}^3 \times 2}{5 \text{ años}}$$

$$\text{tasa mas alta de producción de gas } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right) = 0,1647 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Como el área de triángulo es igual a la mitad de la base multiplicada por la altura, la cantidad total de gas producido es igual a $0,411 \text{ m}^3$, por cada kilogramo de residuos rápidamente biodegradable y la tasa más alta de producción corresponde a $0,1647 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$, con estos valores se puede calcular la generación de los años consecutivos en este caso durante 5 años.

Para el cálculo de la tasa de producción de gas de los residuos lentamente biodegradables se tomó las siguientes consideraciones. La cantidad total de gas producido es igual a $0,060 \text{ m}^3$, por cada kilogramo de residuos rápidamente biodegradable y la tasa más alta de producción corresponde a $0,008 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$, con estos valores se puede calcular la generación de los años consecutivos en este caso durante 15 años.

$$\text{Total del gas producido (m}^3\text{)} = \frac{\text{base (año)} \times \text{altura, tasa mas alta de producción de gas (m}^3\text{/año)}}{2}$$

$$\text{tasa mas alta de producción de gas (m}^3\text{/año)} = \frac{0,060 \text{ m}^3 \times 2}{15 \text{ años}}$$

$$\text{tasa mas alta de producción de gas } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}}\right) = 0,008 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Con los valores de las tasas más altas de producción de gas se puede construir una tabla de distribución por año (ANEXO 9). La sumatoria de la tasas de producción por año y relación a la

cantidad de desechos que se disponen en celdas diarias representan los valores de generación de gas. Los valores de generación del gas calculados corresponden a la cantidad máxima de gas que se puede producir en condiciones óptimas, es decir que generalmente las cantidades reales generadas serán menores porque no toda la materia está disponible para la descomposición.

Tabla 35*Generación de biogás (m3/kg RSU) y consumo de agua total en la generación de biogás (m3/año)*

Año	Relleno sanitario (kg/año)	rápidamente degradable		lentamente degradable		Producción Total de biogás (m3/año)	Consumo total de agua (m3/año)	Producción de biogás acumulado (m3/año)	Producción de biogás (m3/kg RSU)
		Producción de biogás (m3/año)	Consumo de agua (m3/año)	Producción de biogás (m3/año)	Consumo de agua (m3/año)				
2019	5637251,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	5816101,93	348240,24	97,24	2251,39	0,15	350491,63	97,39	350491,63	0,41
2021	6009551,93	968709,08	270,50	9077,00	0,62	977786,08	271,11	1328277,71	0,41
2022	6210301,93	1435294,47	400,78	20625,50	1,40	1455919,97	402,18	2784197,68	0,41
2023	6414701,93	1743599,57	486,87	37054,34	2,52	1780653,91	489,39	4564851,59	0,40
2024	6626401,93	1888212,91	527,25	58525,33	3,98	1946738,24	531,23	6511589,83	0,40
2025	6849051,93	1950613,98	544,68	81827,55	5,56	2032441,53	550,24	8544031,35	0,40
2026	7075351,93	2015326,19	562,75	103650,24	7,04	2118976,44	569,79	10663007,79	0,39
2027	7308951,93	2082293,19	581,45	123949,68	8,42	2206242,87	589,87	12869250,66	0,39
2028	7549851,93	2151345,86	600,73	142673,39	9,69	2294019,24	610,42	15163269,91	0,39
2029	7798051,93	2222540,57	620,61	159768,15	10,85	2382308,72	631,46	17545578,62	0,39
2030		2295877,32	641,09	175180,03	11,90	2471057,35	652,98	20016635,98	0,39
2031		1873905,75	523,26	185633,59	12,61	2059539,34	535,87	22076175,32	0,38
2032		1064824,47	297,33	187745,51	12,75	1252569,98	310,09	23328745,29	0,36
2033		477890,15	133,44	181240,28	12,31	659130,42	145,75	23987875,72	0,32
2034		120430,82	33,63	165833,63	11,26	286264,45	44,89	24274140,17	0,21
2035		0,00	0,00	142358,27	9,67	142358,27	9,67	24416498,44	0,06
2036		0,00	0,00	116498,47	7,91	116498,47	7,91	24532996,91	0,06
2037		0,00	0,00	93000,11	6,32	93000,11	6,32	24625997,02	0,06
2038		0,00	0,00	71941,93	4,89	71941,93	4,89	24697938,95	0,06
2039		0,00	0,00	53404,81	3,63	53404,81	3,63	24751343,76	0,06
2040		0,00	0,00	37471,86	2,55	37471,86	2,55	24788815,62	0,06
2041		0,00	0,00	24229,80	1,65	24229,80	1,65	24813045,42	0,06
2042		0,00	0,00	13768,30	0,94	13768,30	0,94	24826813,72	0,06

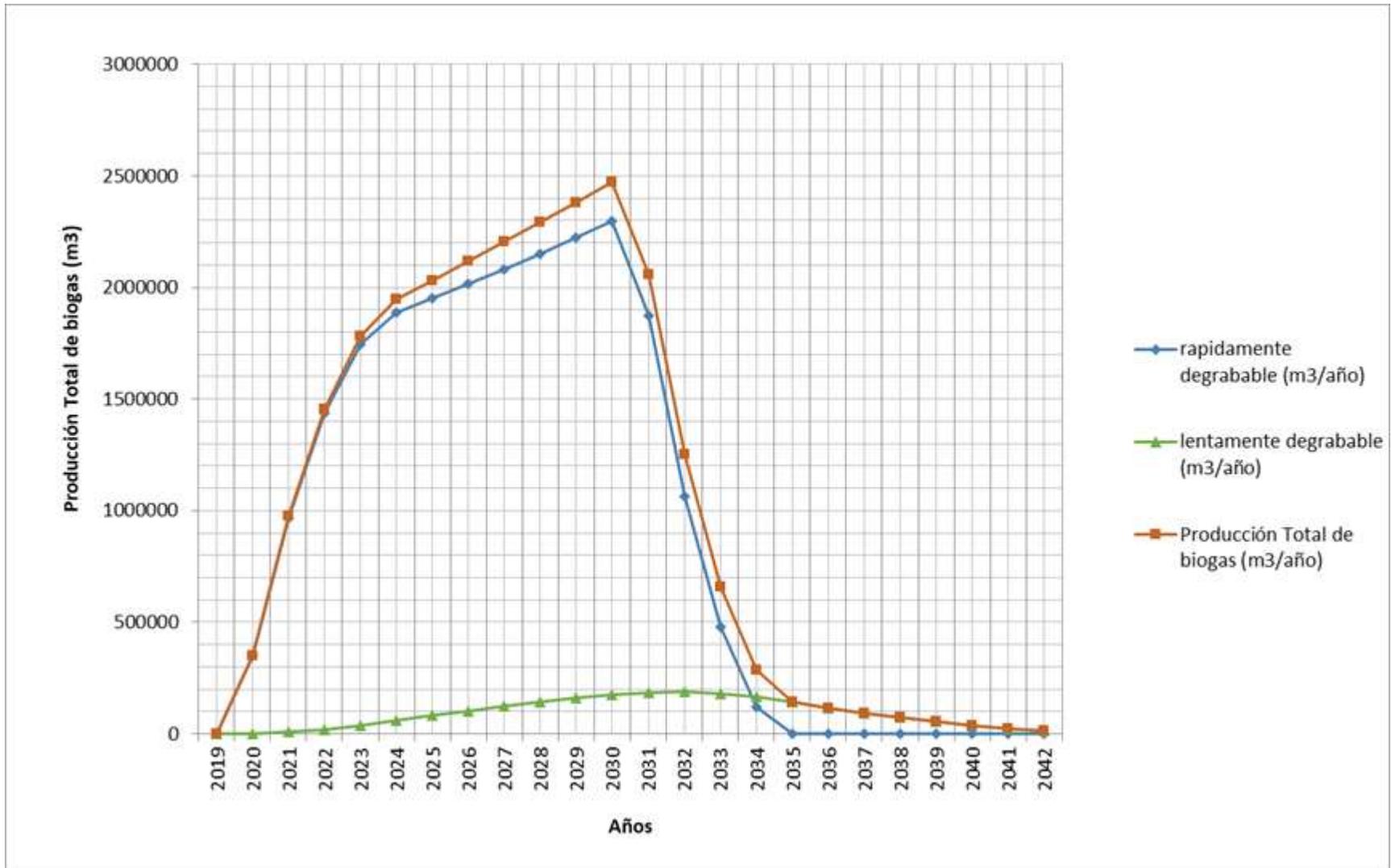


Figura 25 Producción de gas (m³/año) a partir de residuos

3.8.9 Producción de Lixiviados

Para el cálculo de lixiviados se realizó un balance hídrico con la finalidad de cuantificar el potencial de formación de lixiviados mediante los ingresos y salidas de agua, para el efecto se empleó el Método Thornthwaite, la fórmula (12):

$$P = Es + ETR + I$$

Donde:

P: precipitación (en mm/unidad de tiempo, habitualmente año o mes).

Es: escorrentía superficial (en mm/unidad de tiempo).

I: es la infiltración en el terreno (en mm/unidad de tiempo).

ETR: evapotranspiración real (en mm/unidad de tiempo).

Para el cálculo de Evapotranspiración Real, se utiliza la fórmula (13) del Índice de calor anual;

$$I = \sum_1^{12} i = \sum_1^{12} (t/5)^{1,514}$$

$$i = (14,7/5)^{1,514}$$

$$i = 5,1 \text{ (mes Enero)}$$

$$I = \sum_1^{12} i = 62,64$$

El cálculo del i (índice de calor mensual) se calcula para todos los meses. Posterior se calcula el coeficiente experimental de ajuste a , mediante el empleo de la fórmula (14),

$$a = (675 \times 10^{-9})I^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 - (1972 \times 10^{-5})I + 0,4924$$

$$a = (675 \times 10^{-9})(62,63)^3 - (771 \times 10^{-7})(62,63)^2 - (1972 \times 10^{-5})(62,63) + 0,4924$$

$$a = 1,4782$$

Una vez que se dispone información de I (Índice de calor anual) y a (coeficiente experimental), se procede a sustituir en la fórmula (15), para calcular la evapotranspiración sin corregir.

$$e = 16 \left(\frac{10 t}{I} \right)^a$$

$$e = 16 \left(\frac{10 \times 14,7}{62,64} \right)^{1,478}$$

$$e = 56.5 \text{ mm/mes Enero.}$$

Se procede a corregir la ETP sin ajustar mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días de mes y horas de luz de cada día, fórmula (16) y (17), en función de la latitud, los cálculos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 36

Resumen para el cálculo de la Evapotranspiración corregida (mm/mes)

Parámetros	sep	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	Total
Temp (°C)	14,7	14,6	14,7	14,7	14,8	15,0	15,1	15,4	15,3	15,1	14,7	14,6	178,70
i: índice de calor anual	5,12	5,07	5,12	5,12	5,17	5,28	5,33	5,49	5,44	5,33	5,12	5,07	62,64
ETP sin corr. (mm/mes)	56,5	55,9	56,5	56,5	57,0	58,2	58,8	60,5	59,9	58,8	56,5	55,9	
n° días mes	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	
n° horas luz	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
ETP corr. (mm/mes)	56,5	57,8	56,5	58,3	58,9	54,3	60,7	60,5	61,9	58,8	58,3	57,8	700,2

Otro componente para el cálculo del balance hídrico es la escorrentía, se calcula de acuerdo a la estimación de la tabla 7, donde los valores de escorrentía que se muestra se han obtenido a partir

de parcelas experimentales. El cálculo se realiza a partir de la formula (18), con relación de la precipitación total.

$$C = \frac{\Delta P_n}{\Delta P}$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía. De acuerdo a las características del lugar de emplazamiento del relleno sanitario uso de suelo: Pastizal, textura del suelo: areno limoso y pendiente de 5-10% se escoge el coeficiente de la tabla 7, el valor de 0.30

P: es la precipitación total. 55,7 mm/mes enero.

P_n: es la Escorrentía Superficial

$$\Delta P_n = C \times \Delta P$$

$$\Delta P_n = 0.30 \times 55,7 \frac{mm}{mes \text{ Enero}}$$

$$\Delta P_n = 16,71 \frac{mm}{mes \text{ Enero}}$$

El procedimiento antes descrito lo podemos realizar para todos los meses en cuestion con la finalidad de obtener el balance hidrico de nuestra area de estudio, como la muestra a tabla 37., en donde se conoce la precipitacion, la escorrentia y la evapotraspiracion, valores necesarios para el calculo de la infiltracion y deficit hidrico de acuerdo a la fórmula (12).

$$P = E_s + ETR + I$$

$$I = P - E_s - ETR$$

$$I = 55,70 \frac{mm}{mes} - 16,71 \frac{mm}{mes} - 56,4 \frac{mm}{mes}$$

$$I = 0,00 \frac{mm}{mes}; \text{ Déficit mes enero} = 17,48$$

Tabla 37
Balance Hídrico

Parámetros	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL (mm/año)
Temperatura promedio (°C)	14,70	14,60	14,70	14,70	14,80	15,00	15,10	15,40	15,30	15,10	14,70	14,60	
Precipitación (mm/mes)	55,70	57,60	77,40	87,00	59,90	28,30	11,60	8,70	33,20	66,10	68,30	66,10	619,9
Pmáx (mm/día)	15,96	16,41	16,76	18,11	14,62	12,94	6,43	5,38	12,90	16,64	17,23	16,32	
Escorrentía(mm/mes)	16,71	17,28	23,22	26,10	17,97	8,49	3,48	2,61	9,96	19,83	20,49	19,83	
Evapotranspiración corregida (mm/mes)	56,47	57,76	56,47	58,35	58,94	54,30	60,71	60,49	61,90	58,75	58,35	57,76	700,2
Déficit	17,48	-17,44	-2,29	2,55	17,01	34,49	52,59	54,40	38,66	12,48	10,54	11,49	
Infiltración (mm/mes)	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,6

Una vez que se obtiene el valor de infiltración mes y con la finalidad de calcular la producción de lixiviados anual para el relleno sanitario del cantón Pedro Moncayo, se empleó la metodología de Tchobanoglous et al. (1994), para el efecto se realiza el cálculo de generación de lixiviados por unidad de área (m²) del relleno sanitario, se debe tomar en cuenta los siguientes condicionantes:

Infiltración anual: 2,6 mm/añual

Características del material de cobertura

Densidad del material de cobertura: 1365 kg/m³

Relación residuos/suelo: 3:1

Características de residuos

Contenido de humedad inicial de residuos: 28.7% (ver tabla 31. Peso en agua)

Características de la producción de gas

Peso específico del gas de relleno= 1339 kg/m³

Agua presente como vapor de agua en el gas = 0,016 kg/m³

1. Definimos los elementos del balance de aguas para el primer nivel.

a) Determinar el peso del material de cubrición y de los residuos sólidos

peso del material de cubricion (kg)

$$= \text{densidad del material} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{altura (m)} \times \text{relación residuos - suelo} \times \text{área (m}^2\text{)}$$

$$\text{peso del material de cubricion (kg)} = 1365 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 7,50 \text{ m} \times 1/4 \times 1\text{m}^2$$

$$\text{peso del material de cubricion (kg)} = 2559,37 \text{ kg}$$

peso de residuos sólidos (kg) = densidad residuos $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{altura (m)} \times \text{relación residuos - suelo} \times \text{área (m}^2\text{)}$

$$\text{peso de residuos sólidos} = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,15 \text{ m} \times 3/4 \times 1\text{m}^2$$

$$\text{peso de residuos sólidos} = 2812,50 \text{ kg}$$

b) Peso seco de residuos sólidos

$$\text{peso seco de residuos (kg)} = \text{peso de residuos sólidos (kg)} \times (1 - \% \text{ humedad inicial})$$

$$\text{peso seco de residuos (kg)} = 2812,50 \text{ kg} - (1 - 28,7\%)$$

$$\text{peso seco de residuos (kg)} = 2004,03 \text{ kg}$$

c) Peso de agua de residuos sólidos

$$\text{peso de agua residuos sólidos (kg)} = \text{peso de residuos sólidos (kg)} - \text{peso seco de residuos (kg)}$$

$$\text{peso de agua residuos sólidos (kg)} = 808,46 \text{ kg}$$

d) Peso del agua (precipitación) que se infiltra en el relleno

$$\text{Peso del agua (precipitación) (kg)} = \text{infiltración} \times \text{densidad del agua} \times \text{área}$$

$$\text{Peso del agua (precipitación) (kg)} = 0,026 \frac{\text{m}}{\text{ano}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1\text{m}^2$$

$$\text{Peso del agua (precipitación) (kg)} = 2,55 \text{ kg}$$

e) Peso total del nivel

$$\text{peso total del nivel} = \text{peso residuos sólidos} + \text{peso del material de cubrición} + \text{peso de la lluvia}$$

$$\text{peso total del nivel} = 2812,50 \text{ kg} + 2559,37 \text{ kg} + 2,55 \text{ kg}$$

$$\text{peso total del nivel} = 5374,43 \text{ kg}$$

2.- Preparamos un balance de aguas para el final del año 1 y determinamos la cantidad de lixiviados que se puede esperar.

a) Determinar la cantidad y peso del gas producido en el nivel 1 durante el año 1. Es necesario mencionar que la producción de gas no comienza hasta el final del año 1, es decir se supone que no se produce gas durante el primer año.

$$\text{Total gas producido (m}^3\text{)} = \text{peso de residuos sólidos (kg)} \times \text{gas producido por peso} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}\right)$$

$$\text{gas producido total (m}^3\text{)} = 2812,50 \text{ kg} \times 0 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{gas producido total (m}^3\text{)} = 0 \text{ m}^3$$

$$\text{peso del total gas producido (kg)} = \text{volumen de gas producido m}^3 \times \text{peso específico del gas} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

$$\text{peso del gas producido (kg)} = 0 \text{ m}^3 \times 1339 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{peso del gas producido (kg)} = 0 \text{ kg}$$

b) Determinar el peso del agua consumida en la producción de biogás.

$$\text{agua consumida (kg)} = \text{gas producido total (m}^3\text{)} \times \text{Agua consumida en formación de gas (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{agua consumida (kg)} = 0 \text{ m}^3 \text{ gas producido total} \times 0,278 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{agua consumida (kg)} = 0 \text{ kg}$$

c) Determinar el peso del vapor de agua presente en el gas.

$$\text{peso del vapor de agua (kg)} = \text{gas producido total (m}^3\text{)} \times \text{agua presente como vapor de agua} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{peso del vapor de agua (kg)} = 0,0 \text{ m}^3 \times 0,016 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{peso del vapor de agua} = 0,0 \text{ kg}$$

d) Determinar el peso del agua en los residuos solidos en el nivel 1

peso del agua nivel 1 (kg)

$$= \text{peso de la precipitacion} + \text{peso de agua en los residuos}$$

$$- \text{peso de agua consumida en la produccion de gas} - \text{peso de vapor de agua}$$

$$\text{peso del agua (kg)} = 2,55 \text{ kg} + 808,46 \text{ kg} - 0,0 \text{ kg} - 0,0 \text{ kg}$$

$$\text{peso del agua (kg)} = 811,01 \text{ kg}$$

e) Determinar el peso seco de los residuos sólidos restantes en el nivel 1 al final del año 1

peso seco de los residuos (kg)

$$= \text{peso seco de los residuos (kg)} - (\text{peso de biogas producido (kg)})$$

$$- \text{peso de agua consumida en produccion de biogas (kg)}$$

$$\text{peso seco de los residuos (kg)} = 2004,03 \text{ kg} - 0,0 \text{ kg} - 0,0 \text{ kg}$$

$$\text{peso seco de los residuos (kg)} = 2004,03 \text{ kg}$$

f) Determinar el peso medio de los residuos colocados en el nivel 1. (Nota: el peso medio en el nivel 1 se producirá en el punto medio de los residuos en el nivel 1.)

peso medio (kg)

$$= 0,5 \times (\text{peso seco de los residuos (kg)} + \text{peso del agua (kg)})$$

$$+ \text{peso del material de cubricion (kg)}$$

$$\text{peso medio (kg)} = 0,5 \times (2004,04 \text{ kg} + 811,01 \text{ kg}) + 2559,37 \text{ kg}$$

$$\text{peso medio (kg)} = 3966,90 \text{ kg}$$

g) Determinar el factor de capacidad de campo a partir de la ecuación (18)

$$FC = 0,6 - 0,55 \frac{W (\text{peso medio})}{4536 + W}$$

$$FC = 0,6 - 0,55 \frac{3966,90 \text{ kg}}{4536 + 3966,90 \text{ kg}}$$

$$FC = 0,34$$

h) Determinar la cantidad de agua que puede retenerse en los residuos solidos

Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1 (kg)

$$= \text{factor de capacidad de campo} \times \text{peso seco de residuos (kg)}$$

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1 (kg)} = 0,34 \times 2004,04 \text{ kg}$$

$$\text{Agua retenida en los residuos sólidos en el nivel 1 (kg)} = 688,20 \text{ kg}$$

i) Determinar la cantidad de lixiviados producidos

lixiviados producido (kg)

$$= \text{agua real en residuos solidos (kg)}$$

$$- \text{capacidad de campo de los residuos solidos (kg)}$$

$$\text{lixiviados producido (kg)} = 811,01 \text{ kg} - 688,20 \text{ kg}$$

$$\text{lixiviados producido (kg)} = 122,82 \text{ kg/m}^2$$

Para el año 2019, considerando la ocupación del área de 3647,48 m², se obtiene que:

$$\text{lixiviados producido} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = 122,82 \text{ kg/m}^2 \times 3647,48 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{lixiviados producido} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{año}} \right) = 1,23$$

El cálculo detallado se repite para todos los años con se detalla en la Tabla 38.

Tabla 38*Producción de lixiviados m3/año*

Año	Biogás generado (m3/kg RSU)	Agua consumida en formación de biogás (kg/m3 biogás)	Total de gas producido (m3)	Peso de biogás producido (kg)	Peso de agua consumida en producción de biogás (kg)	Peso de vapor de agua presente en el biogás (kg)	Peso del agua en los residuos sólidos (kg)	Peso seco de los residuos sólidos restantes (kg)	Peso medio de los residuos sólidos (kg)	Factor de capacidad de campo	Capacidad de campo de los residuos sólidos (kg)	Lixiviados producidos (kg)	área anual (m2)	Lixiviados producidos (m3/año)	Lixiviados producidos (m3/día)
2019	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	811,01	2004,04	3966,90	0,34	688,20	122,82	3647,48	447,97	1,23
2020	0,410	0,278	1151,92	1542,42	320,09	18,43	876,72	3006,06	8117,72	0,25	742,97	133,75	3758,76	502,73	1,38
2021	0,409	0,277	1149,09	1538,63	318,61	18,39	878,25	3006,06	8120,03	0,25	742,87	135,38	3761,00	509,18	1,40
2022	0,407	0,276	1144,26	1532,16	316,09	18,31	880,85	3006,06	8123,98	0,25	742,68	138,17	6002,71	829,37	2,27
2023	0,405	0,275	1137,68	1523,35	312,68	18,20	884,37	3006,06	8129,37	0,25	742,43	141,94	6193,37	879,07	2,41
2024	0,401	0,273	1128,52	1511,09	307,95	18,06	889,24	3006,06	8136,91	0,25	742,08	147,16	6390,84	940,47	2,58
2025	0,398	0,271	1118,43	1497,58	302,79	17,89	894,56	3006,06	8145,26	0,25	741,69	152,88	6598,52	1008,75	2,76
026	0,395	0,269	1109,86	1486,11	298,44	17,76	899,05	3006,06	8152,39	0,25	741,36	157,69	6809,61	1073,83	2,94
2027	0,392	0,267	1102,67	1476,48	294,81	17,64	902,79	3006,06	8158,39	0,25	741,08	161,71	7027,50	1136,45	3,11
2028	0,390	0,266	1096,72	1468,51	291,83	17,55	905,87	3006,06	8163,37	0,25	740,84	165,03	7252,21	1196,80	3,28
2029	0,388	0,265	1091,90	1462,05	289,42	17,47	908,35	3006,06	8167,42	0,25	740,66	167,70	7679,78	1287,88	3,53

El área para la implantación del relleno sanitario corresponde a 5ha, terreno que ha sido expropiado por el Municipio del cantón; la ocupación del área se distribuye en los cubetos de disposición final y áreas complementarias para la operación del mismo. El área de implantación de los cubetos de disposición final es de 11618,33 m², para un periodo de diseño de 10 años (2019-2029), considerando una densidad de compactación de 500kg/m³. El área complementaria es de 6534,00 m²., abarca: guardianía, bodegas de clasificación, área compostaje y parqueadero.

El detalle de la implantación total del terreno se encuentra en el ANEXO.9 Lamina 1.

4.1 Diseño del cubeto de disposición final

Se ha diseñado un cubeto de disposición final que receptara un total de 201934,59m³ (Ver tabla. 30) durante el período de diseño (2019-2029). De acuerdo a las recomendaciones realizadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS/CEPIS, 2002) se requiere que la superficie de la base de las plataformas de residuos tenga una pendiente negativa de 2 ó 3% con respecto a los taludes del fondo y laterales, con el objetivo de garantizar el escurrimiento rápido de los lixiviados y su almacenamiento en las zanjas de drenaje.

Se empleó taludes de diseño con la siguiente inclinación 0.5H:1V, lo cual garantiza la estabilidad de las paredes del cubeto, en este caso se consideró la conformación de taludes de 7.5 metros de altura y bermas de 3.0 metros de ancho esto se sustenta en el Informe de Mecánica de Suelos Proyecto Relleno Sanitario del Cantón Pedro Moncayo (2011), donde se especifica que:

- Material natural compuesto por estratos decimétricos alternados de limo y arena:

De 0,20 hasta 5.0 m.

Angulo de Fricción 18 grados

Cohesión 0.50 Ton/m²

Densidad 1.60Ton/m³

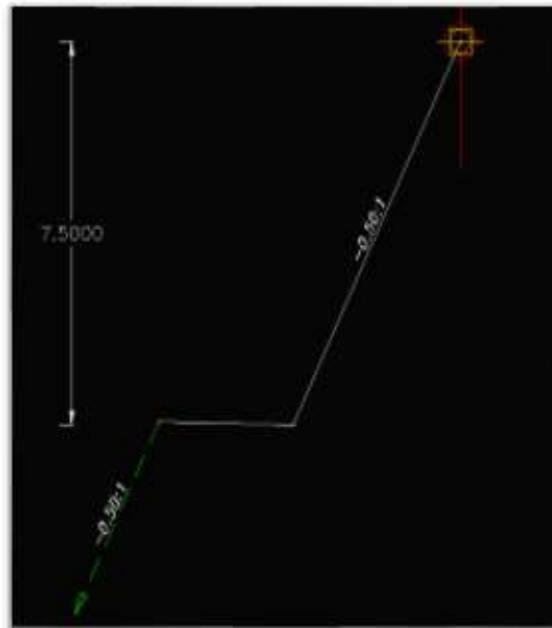


Figura 27 Configuración de la inclinación del talud 0.50H:1,0V

La superficie de las terrazas o terraplenes deberán tener una pendiente del 2% con respecto a los taludes interiores, a fin de conducir las aguas de lixiviado a las zanjas de drenaje y evitar encharcamientos cuando se usen como vías temporales de acceso; lo anterior contribuye también a brindar estabilidad a la obra.

4.1.1 Construcción de niveles

Se realizará la construcción de niveles o terrazas con el propósito de brindarle estabilidad al relleno sanitario construido con el método de combinado (área y trinchera). Se construirá 3 niveles; los dos primeros serán 6,90 metros de altura, conformadas por seis celdas de 1.15 metros (1.00 metros altura de residuos y 0.15 metros de material de cobertura) y un tercer nivel de 5 celdas (altura 5,75); es decir, se completará una altura de 19,55m. Entre cada terraza se deja una berma o pasillo de 2 a 4 metros de ancho a fin de darle estabilidad a la obra de acuerdo a las recomendaciones (OPS/CEPIS, 2002).

4.1.2 Construcción de celdas

La basura se descarga en el frente de trabajo; se esparcen sobre la superficie de terreno al pie del talud o de las celdas ya terminadas en capas sucesivas de 0,20 a 0,30 metros. Las dimensiones de las celdas diarias varían de acuerdo a lo señalado en la sección 3.8.6 Cálculo de la celda diaria. El ancho de la celda tiene que ver con la dimensión requerida para la maniobra de los vehículos recolectores al momento de la descarga, el largo (avance) va estar definido por la cantidad de desechos que llegue y la altura por el criterio de compactación de residuos. Para concluir la celda, se cubre con una capa de tierra 0,15 metros, para evitar la llegada de vectores biológicos. El cubrimiento deberá realizarse todos los días al final de la jornada, después del ingreso de residuos. La celda diaria para el año 2019 y 2029, se detalla en la figura 9 y 10 (ANEXO 10 lamina 8). Las dimensiones de la celda por año se detallan en detallan en la tabla Nro. 31 La cobertura final será de 0,30 a 0,60 metros y se realizará en dos etapas, con capas de 0,15 a 0,30 metros y a intervalos

de un mes, todo esto para tratar de cubrir los asentamientos que se produzcan en la superficie de la primera capas. \

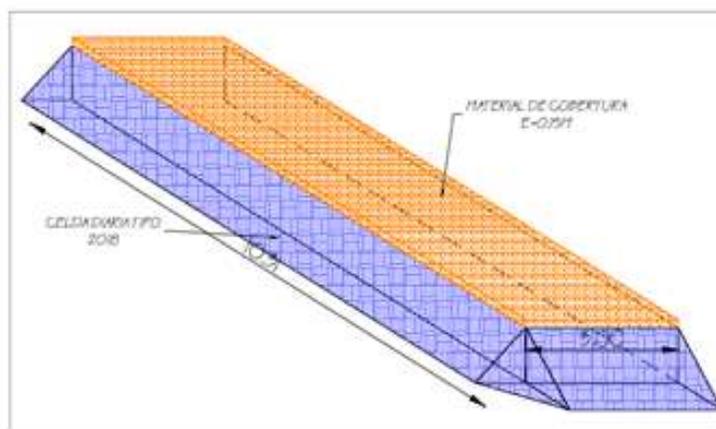


Figura 28 Celda tipo 2019

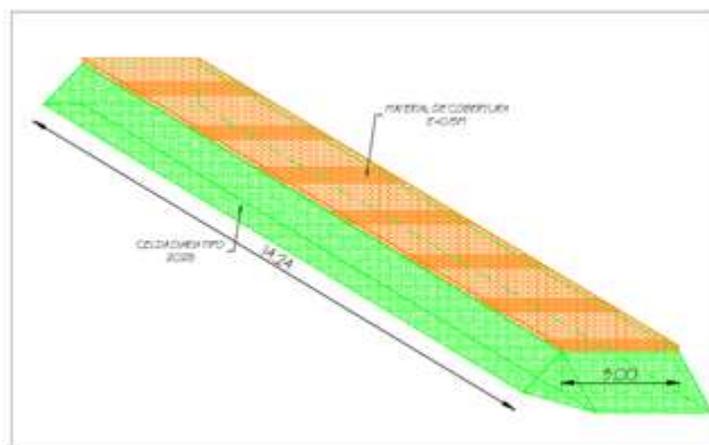


Figura 29 Celda tipo 2029

4.1.3 Impermeabilización y drenaje

El proyecto de un relleno sanitario considera la posibilidad de contaminación de agua y suelo por acción de la percolación de lixiviados. Por lo tanto, es necesario considerar el diseño de un sistema de impermeabilización lateral y de fondo para asegurar la protección de las aguas subterráneas y evitar la migración lateral de biogás. Para la impermeabilización del relleno sanitario se empleará

una capa de arcilla compactada de 0,30 metros de espesor y una membrana sintética, geomembrana de polietileno de alta densidad, con un espesor mínimo de 1mm. El drenaje para la captación de lixiviados se colocará sobre la geomembrana con una material filtrante de piedra de diámetro entre 10-20 cm, con la finalidad de que funcione como parte del dren transportando los lixiviados.

4.2 Captación y conducción de gases

El biogás tiene un valor como recurso energético, sin embargo cuando éste no es aprovechado, el biogás generado al interior de un relleno sanitario debe ser adecuadamente eliminado mediante dispositivos e instalaciones apropiadas que permitan evitar riesgos de explosiones y migraciones a través del subsuelo. El manejo adecuado del biogás producido al interior del relleno se logra mediante la instalación de drenes o chimeneas que permitan su salida controlada y su captación para su quema o aprovechamiento (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014) De acuerdo a la recomendación Gutiérrez (2012), estas chimeneas se construyen verticalmente a medida que avanza el relleno, procurando que su entorno esté bien compactado.

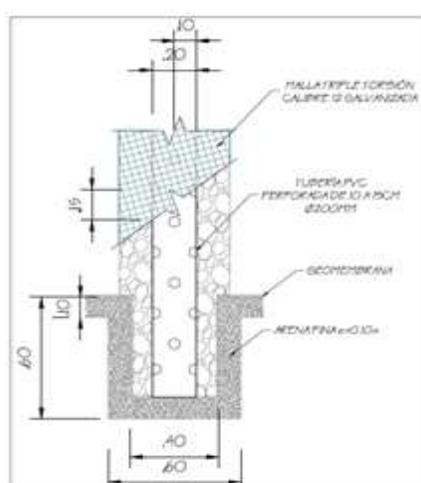


Figura 30 Detalle de chimeneas

Se recomienda que cada una tenga una sección de 0.50 m de diámetro y que sean instaladas cada 50 metros, las chimeneas mantienen una distancia de perforaciones en la tubería de PVC entre 10 a 15 cm, las mismas que se construirán con un malla triple torsión calibre 12 galvanizada. Estas chimeneas se rellenan con piedra de diámetros de 4 o 6 pulgadas o gravas (Gutiérrez, 20012). Ver detalles ANEXO 10, Lámina 6.

Prevista la conclusión de la última celda, se colocan dos tubos de concreto, el primero perforado para facilitar la captación y el drenaje de gases; el segundo tubo, en cambio, no será perforado con el objeto de que el gas metano pueda ser quemado a la salida, y se eliminarán de paso los olores producidos por otros gases. A fin de facilitar la quema del metano, se recomienda la instalación de una caperuza metálica y la preparación de un mechón para encender el gas a la salida del tubo

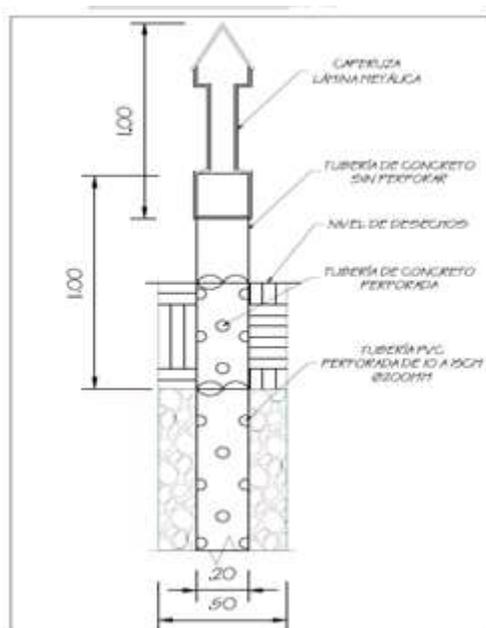


Figura 31 Detalle conclusión de chimenea

4.3 Drenaje Lixiviados

El sistema de drenaje y almacenamiento de lixiviado consiste en una red horizontal de zanjas de piedra, tipo “espina de pescado”. Para evacuar los lixiviados desde el fondo se dispondrán canaletas de drenaje, las que a su vez conectarán con las tuberías de drenaje, que serán las encargadas de conducir los lixiviados hasta un colector común conectado con el tubo de evacuación destinado a conducir los lixiviados hasta la laguna de almacenamiento. Para estos efectos, conviene dar pendientes adecuadas a la base del relleno del orden del 2-3 %-, hacia las canaletas de drenaje de forma de facilitar el escurrimiento de los lixiviados que alcanzan el fondo del relleno. Estas canaletas, a su vez, se conectarán con las tuberías de drenaje antes mencionadas. Al interior de las canaletas de drenaje se coloca un tubo, perforado o ranurado, de manera de facilitar el escurrimiento de los lixiviados hacia las tuberías de drenaje.

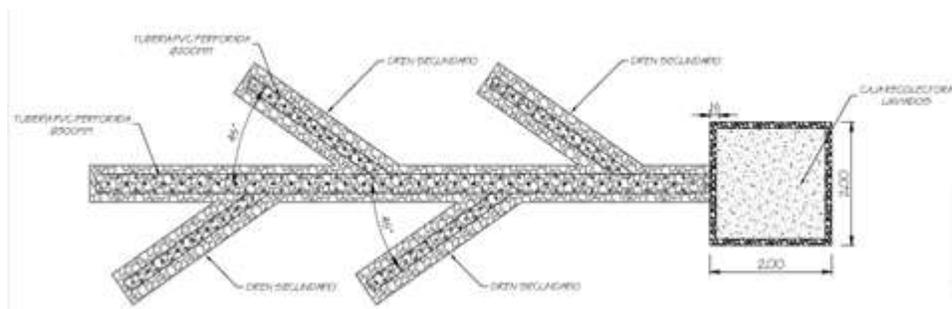


Figura 32 Sistema de Recolección de Lixiviados.

El espacio no ocupado por los tubos perforados al interior de las canaletas de drenaje se rellena con grava limpia, o lavada, de 3,5 a 5 cm. Las tuberías de drenaje deberán tener una pendiente del orden del 0,5 al 1% hacia el colector. Los drenes están constituidos por tubería de un diámetro

200mm de PVC perforada en la sección superior, con material filtrante de diámetro de 3,5 a 5 cm, constituido por grava limpia o lavada.

4.4 Diseño de obras de drenaje aguas lluvias.

Las aguas de lluvia que caen sobre las áreas vecinas al relleno sanitario suelen escurrirse hasta él, lo que dificulta la operación del relleno. Interceptar y desviar el escurrimiento de aguas de lluvia por medio de un canal perimetral fuera del relleno sanitario es un elemento fundamental de su infraestructura, que contribuirá a reducir el volumen del líquido percolado y mejorar las condiciones de operación. Para el efecto se usará un canal de hormigón de forma trapezoidal. La separación entre ellas será de un metro, según se requiera para garantizar su estabilidad mientras permanecen vacías.

5 Capítulo MANUAL DE OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTON PEDRO MONCAYO

Introducción

En el Cantón Pedro Moncayo la técnica de disposición final de los residuos corresponde a un Relleno sanitario de clasificación semi-mecanizado, obra de ingeniería que se adopta con el fin de dar una adecuada disposición final de los desechos y/o residuos sólidos del Municipio y cumplir con los requerimientos técnicos y legales que el Gobierno Nacional dispone, a través del Ministerio de Ambiente.

En el Relleno Sanitario las actividades principales corresponden al esparcimiento, acomodo y compactación de los desechos y/o residuos, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, para luego cubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente y efectuando el control de los- gases, lixiviados y la proliferación de vectores.

El diseño definitivo planteado en este proyecto de tesis consiste en disponer los residuos sólidos en celdas debidamente acondicionadas para ello y en un área del menor tamaño posible, en base a los estudios preliminares del área de estudio. De esta manera se dispone de los residuos sólidos, con un estímulo que incentiva el uso de buenas prácticas ambientales, fomentando la gestión integral de los mismos. Considerando de forma prioritaria las medidas y acciones de la gestión del cambio climático que promueve el reducir y minimizar los impactos negativos en grupos sensibles y de atención prioritaria, ecosistemas, proyectos estratégicos nacionales y sectores o instituciones productivos y públicos clave (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2017).

Objetivos

Establecer los procedimientos necesarios para una adecuada operación del Relleno Sanitario del Municipio de Pedro Moncayo.

Alcance:

El alcance de este manual es describir las actividades de operación del Relleno Sanitario y poner en marcha el adecuado funcionamiento del mismo con la seguridad, limpieza y adecuada ejecución.

Meta:

- Proporcionar una herramienta técnica de consulta para el Municipio del Cantón Pedro Moncayo
- Lograr un adecuado funcionamiento del Relleno Sanitario del Municipio de Pedro Moncayo.

Personal del relleno sanitario

La mínima cantidad de personal en el relleno sanitario, dependerá de la cantidad de residuos que se reciben en las operaciones del mismo (EuropeAid, 2010). En la siguiente tabla se detalla la necesidad de personal de un relleno pequeño o mediano con compactación mecanizada, el cual cumple con las características del relleno del Cantón Pedro Moncayo:

Tabla 1*Necesidad de personal en el relleno*

Actividades del personal	Personal necesario para el relleno
Manejo del Relleno Sanitario (ingeniero ambiental, civil o mecánico)	1 persona
Ingreso y registro de los residuos no peligrosos (comunes)	1 persona (encargado del registro y balanza) puede ser el guardia del relleno sanitario.
Conformación de la celda	1 operador de maquinaria
Esparcido, compactación de los residuos y colocación de capa de cobertura.	1 ayudante (puede ser un operador de aseo) 1 operador de aseo
Control de gases	2 operadores de aseo y mantenimiento del sistema de gases y lixiviados.
Control de lixiviados	
Elaboración de abonos orgánicos	3 operadores de aseo (los mismos que trabajan en el control de gases y conformación de celda) 1 ayudante (el mismo ayudante en otras actividades)
Control de molestias	2 operadores de aseo
Seguridad en el Relleno Sanitario	1 persona (puede ser la persona que registra y se encarga de la balanza)

Fuente: Adaptación de Röben, 2002.

Maquinaria, Herramientas y Equipo de Protección Personal**a) Maquinaria necesaria en el Relleno Sanitario**

Una etapa importante en la operación de un relleno es la selección de la maquinaria para sus operaciones diarias, por ejemplo: la compactación, movimiento de residuos, excavación y transporte de cubierta. De acuerdo al detalle de celdas diarias 2019-2029 del relleno sanitario de Pedro Moncayo elaborado en el presente trabajo de titulación, el tonelaje diario de residuos sólidos

+ cobertura se encuentra entre 30-45m³/día. En base a esta información se recomienda los siguientes vehículos:

Tabla 2

Necesidad de maquinaria para el relleno sanitario

Tipo de maquinaria	Detalle	Función
Tractor compactador	De acuerdo al Manual de Manejo de Desechos de Caterpillar (1991) y al tonelaje del relleno de Pedro Moncayo se recomienda utilizar tractores: D&R, 953C ó 816F.	Distribuir y compactar residuos Preparación de la celda y cobertura Movimiento de tierras o residuos
Balanza registradora	Balanza camionera que pueda pesar a los camiones de recolección	Determinar la cantidad de residuos que ingresan al relleno sanitario.
Camión	Camión o volqueta recolectora de residuos fuera de servicio	Movilización de residuos reciclables, abonos, entre cada lugar de depósito y el lugar de disposición final.
Auxiliares	Camioneta Rodillo	O vehículo que permita el movilizar a personal del relleno y/o combustible ara las operaciones del relleno. Compactación de nuevas celdas en el relleno.

Fuente: Gutiérrez, 2012 y Röben, 2002.

Herramientas del relleno sanitario:

El requerimiento de herramientas varía de acuerdo a las actividades que se vaya a realizar en el relleno sanitario. A continuación se detalla las herramientas recomendadas para la adecuada operación de actividades:

Tabla 3*Necesidad de herramientas en el relleno sanitario*

Herramienta	Actividad de operación requerida	Función
Pala	Elaboración de abonos orgánicos, barrido y limpieza de residuos sólidos	Carga y descarga de residuos sólidos
Pico	Elaboración de abonos orgánicos, mantenimiento y limpieza del relleno sanitario	Mantenimiento de canales, cunetas, terreno.
Rastrillo	Elaboración de abonos orgánicos, mantenimiento y limpieza del relleno sanitario	Movimiento de residuos, nivelación de terreno, movimiento de abonos y materiales de los que se compone
Alicate	Construcción de chimeneas	Corte de mallas galvanizadas para la elaboración de chimeneas
Carretilla	Movilización de residuos en general, elaboración de abonos orgánicos	Movimiento de residuos y abonos
Barra	Mantenimiento y limpieza del relleno sanitario, control de molestias	Realizar trabajos de arborización y aflojar el terreno
Machete	Mantenimiento y limpieza del relleno sanitario, control de molestias	Corte de arbustos y árboles de lugares que se requiera realizar la limpieza.
Trinches (curvos, rectos)	Elaboración de abonos orgánicos, compactación	Esparcido de residuos, colocación de la cobertura sobre las capas de residuos.
Linterna	Registro e ingreso de desechos al relleno sanitario	Permite iluminar durante la noche el tablero de registro, así como realizar la correcta seguridad del relleno sanitario
Escoba	Mantenimiento y limpieza del relleno sanitario, control de molestias	Recolección de residuos

Fuente: Gutiérrez, 2012

Equipo de protección personal

Como parte del programa de salud ocupacional, higiene y seguridad de trabajadores del relleno sanitario es importante dotar a los trabajadores su equipo de protección personal (EPP), para que se desarrollen en sus actividades diarias (Eguizabal, sf). A continuación, se enlista los elementos del EPP, útiles en el relleno sanitario de Pedro Moncayo.

Tabla 4*Necesidad de equipo de protección personal en el relleno*

Equipo de Protección Personal	Imagen
Mascarilla de polvo y gases	
Guantes de cuero	
Casco de protección	
Ropa de protección (1-2 piezas)	

Botas de cuero



Botas de plástico



Poncho impermeable



Actividades de operación del relleno sanitario

a) Ingreso de desechos y registro

Esta actividad es importante para identificar el tipo de desechos y la cantidad que ingresan al relleno sanitario (Röben, 2002). Los residuos sólidos no deberían aceptarse en el relleno sanitario sin conocerse desde un inicio su naturaleza y composición (EuropeAid, 2010).

En la entrada del Relleno se dispone de una portería que tendrá a una persona encargada (en este caso el guardia o operador), quien registra los datos de pesos que capta el indicador de la báscula. Esta persona estará a cargo de manejar y responder por la caseta de registro y báscula, diariamente procesar todos los datos de pesaje y almacenar los datos de ingreso y salida en la Bitácora del relleno y el Formato Registro Ingreso Relleno Sanitario

REGISTRO INGRESO RELLENO SANITARIO.
<ul style="list-style-type: none"> • Fecha: Se refiere al día de la operación (mm/dd/aa). • Hora de ingreso: Hora de entrada del vehículo, (hr/min). • Peso vehículo al ingreso: (kg). • Peso Vehículo de salida del relleno:(kg). • Hora de salida: Hora de salida del vehículo del relleno, (hr/min). • Origen: Lugar donde de donde viene los residuos, para efectos de la operación es necesario codificar estos lugares para facilitar el trabajo de identificación de datos y resumen de información. • Tipo de residuo: Desechos domiciliarios, hospitalarios, industriales, peligrosos etc.) • Placa: Identificación del vehículo. • Conductor: Nombre completo de la persona que conduce. • Destino: A la celda diaria o plataforma respectiva.

Este formato permite considerar aspectos importantes al momento del registro:

1. Información de la persona que trae los desechos (Nombres y apellidos y/o nombre de la compañía, número de identidad, fecha y hora, placa del vehículo).
2. Peso de los desechos que ingresan al relleno
3. Tipo de desechos (domiciliarios, hospitalarios, peligrosos etc).

La verificación de los desechos que llegan al registro puede hacerse de una forma aleatoria, seleccionando algunas fundas de basura y revisando su contenido. En caso la revisión de documentos o el residuo no cumple con la descripción dada previamente, o se tienen sospecha de que no son desechos adecuados se niega la descarga de los residuos al relleno (EuropeAid, 2010).

Detalle del procedimiento al ingreso de desechos comunes al Relleno Sanitario	
a)	Parar en la Portería e ingresar lentamente.
b)	Si existe báscula, realizar el procedimiento para pesaje descrito a continuación.
c)	Ubicarse en el lado de ingreso.
d)	Esperar a que el operador de báscula registre el peso y le ordene continuar hacia el frente de trabajo.
e)	Tomar la carretera de acceso al Relleno Sanitario, conservar la derecha, mantener una prudente velocidad y no regar basura en la vía.
f)	Seguir hasta donde indique el Supervisor del Frente de Trabajo y esperar, sin pitar, hasta que se dé la orden de descargue.
g)	Cuando se dé la orden de descargue, bajar el vidrio para oír las instrucciones, utilizar los espejos retrovisores cuando se dé reversa y seguir cuidadosamente las indicaciones del personal del frente de trabajo.
h)	Descargar en el sitio indicado.
i)	Emplear el tiempo estrictamente necesario en el frente de trabajo.
j)	Salir del frente de trabajo y regresar a la báscula de salida.
k)	Esperar a que el operador de báscula registre el peso de salida luego de lo cual firmará el casillero correspondiente de salida.

- | | |
|----|---|
| l) | Mantener los límites de velocidad. Por la Vía de Acceso no debe ser superior a 15 km/h, en la Vía Principal el Límite de Velocidad es de 30 km/h. Las vías deben disponer de una adecuada señalización vertical y horizontal. |
| m) | Tener mucho cuidado con el personal "peatón" que está en el relleno sanitario dirigiendo el tráfico y el frente de trabajo. |
| n) | Evitar accidentes; el frente de trabajo es de alto riesgo. |
| o) | Seguir las instrucciones del personal que opera en el Relleno Sanitario. |

b) Conformación de la celda diaria.

El plan previo a la conformación de la celda debe considerar el lugar de la celda y sus dimensiones. Así como también, un aproximado de las descargas que se realiza por unidad. Esta información se dará al operador del relleno y de la celda en específico para que coordine con el operador de maquinaria (Townsend et al., 2015). Previo a la conformación de la celda se debe realizar la supervisión de la conformación de los desechos que se realiza en el sitio de la descarga, el operador de turno deberá supervisar el tipo de desecho que ingresa al sitio de descarga, el mismo que bajo ningún concepto podrá ser desecho de construcción o de escombros y desechos peligrosos. También se debe revisar el sitio del depósito para que no se tenga altas cantidades de agua superficial, vegetación o materiales extraños al proceso del relleno sanitario (EuropeAid, 2010). Normalmente, se requiere tres personas capacitadas en el manejo y mantenimiento de las maquinarias que van a operar y tener experiencia en maquinaria pesada para la disposición de materiales:

- Operador de Maquinaria
- Ayudante de Maquinaria
- Operador de Aseo

Una celda está conformada por residuos sólidos urbanos depositados en un día y por el material de cobertura correspondiente. Una vez que han descargado los desechos en el frente de trabajo designado o celda diaria se procede:

Detalle de la conformación de la celda
<p>a) Seguir las instrucciones del personal que opera en el Relleno Sanitario, quien debería conocer el área del terreno destinado para la construcción de las celdas, el método constructivo de celda y el origen de la tierra de cobertura (Jaramillo, 2002).</p> <p>b) El avance de conformación de la celda, dependerá de la cantidad de desechos y dimensiones antes definidas por el equipo de trabajo (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional, 2014). (Ver: sección 3.8.6 cálculo celda diaria)</p> <p>c) El esparcimiento y posterior compactación de los residuos se realiza en capas horizontales o inclinadas (pendiente 1:3) (Jaramillo, 2002). Una vez esparcido los desechos, se procede a la compactación de los mismos. Con el fin de lograr una mejor compactación durante la primera compactación, se recomienda tener un nivel de 1.00 en desechos.</p> <p>d) Para las siguientes capas, los desechos se esparcirán de forma homogénea en porciones delgadas de 0,20 a 0,30 metros. A continuación se realizará la compactación de residuos sólidos con el mismo equipo pesado trabajando en esa capa, hasta alcanzar un coeficiente de permeabilidad no superior a 1×10^{-4} cm/s (Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2014, pág. 37)</p> <p>e) Se recomienda cubrir con tierra de cobertura compactada entre los niveles de las celdas con un espesor entre 0.15 a 0.20 m. (Eguizabal, sf.).</p>

c) Compactación de los Residuos y Colocación de capa de cobertura.

En esta etapa se requiere que el operador y ayudante de maquinaria en conjunto con el operador de aseo trabajen en esta fase al igual que en la conformación de la celda. En esta etapa es necesario reconocer los factores que pueden influir en la adecuada compactación de los desechos, como son:

- La naturaleza de los desechos
- El número de pasadas del tractor

- La profundidad de cada capa de desechos para la compactación
- Si se realiza por separado la compactación de desechos y luego de la capa de cobertura.
- La destreza del operador de la maquinaria también puede afectar la compactación del relleno, costos de maquinaria, mantenimiento y combustibles.

La naturaleza del desecho juega un rol fundamental al momento de compactar. Hay residuos que no deberían depositarse directamente en la celda con otros desechos. Los desechos que son principalmente de animales o netamente pescado deberían ubicarse en la celda y ser cubiertos inmediatamente. Inclusive, no deberían ser depositados cerca de las paredes o frente del relleno. Las distancias recomendadas del depósito de este tipo de desechos son 1 metro de la superficie y a 2 metros de las paredes o frente del relleno sanitario (EuropeAid, 2010).

Para la compactación de los desechos, lo más recomendable es colocar capas delgadas con un espesor mínimo de 15 a 20 cm. El tractorista o ayudante puede determinar el espesor, realizando un control visual o colocando una estaca que indique las medidas. Se recomienda pasar 20 veces sobre los desechos con el tractor del relleno (ejemplo: Tractor marca Caterpillar D6R). En caso se disponga de otro equipo con mejores características, el tiempo y número de pasadas sobre los residuos se reduciría (Röben, 2002).

La cubierta diaria del relleno sanitario es una práctica esencial que mantiene el relleno en buenas condiciones, apariencia laboral y de todo el lugar; así como también, reduce considerablemente las aves, insectos, roedores. La disminución de olores y riesgos a incendios son resultados y beneficios

de la cubierta de los desechos. Para la cubierta final de la celda, es importante considerar que no debe tener pendiente para que se evita la erosión de la misma. La instalación de drenajes evitará que se produzca un estancamiento de agua. La capa de restauración final de la celda y el relleno sanitario en sí, debe tener un mínimo grosor de 0,60 metros y se compone de una capa superficial de suelo (EuropeAid, 2010).

Detalle del procedimiento:

Para el 2018, los residuos son descargados en una franja de 10,30m de largo, 3m de ancho y 1m de alto (Ver sección: 3.8.6 cálculo de la celda diaria). Estos residuos ya homogenizados son transportados por la maquinaria hasta el frente de conformación de la celda, donde será compactados mediante la aplicación de una carga mecánica hasta obtener un densidad mínima de (Fernández, 2010):

- Celda diaria: 400-500 kg/m³
- Basura estabilizada en el relleno sanitario: 500-600 kg/m³

Para obtener resultados óptimos, se debe controlar que el operador del tractor cumpla con los siguientes pasos:

- a) Homogeneizar y distribuir los desechos en el frente del trabajo y colocarlos en capas de 20-30 cm de espesor. Para esto el operador se basará en un control visual de la altura de la capa o podrá ayudarse con una estaca graduada como referencia.
- b) El frente de trabajo deberá tener una contra pendiente de 1:3 vertical - horizontal, a la vez que se trabaja con los residuos de abajo hacia arriba, rompiendo, acomodando y compactando los residuos sólidos (Jaramillo, 2002).
- c) El operador repite esta operación (como mínimo 20 pasadas) hasta que las basuras o desechos hayan sido acomodados, y la superficie no se deforme después del paso del tractor (Röben, 2002). Se espera alcanzar una densidad mínima detallada anteriormente.
- d) Repetir todo el ciclo descrito.
- e) Concluida la conformación, esparcido y compactación de los desechos, se procederá a colocar la capa de cobertura, cuyo espesor final no será inferior a 15 cm de tierra la misma que debe ser compactada (Eguizabal, sf.). (El material de cobertura será el extraído durante los movimientos de tierra, se acumulará en una zona almacenamiento, desde donde será distribuida con la maquinaria sobre la superficie o celda diaria a cubrirse).

d) Control de Gases

El gas del relleno sanitario es generado por una descomposición anaerobia que se realiza en el interior del mismo a partir de los residuos orgánicos. Generalmente, esta descomposición ocurre desde que se recibe los residuos al relleno, hasta aproximadamente 30 años después de su inicio. Típicamente, el gas producido por un relleno sanitario está compuesto de metano CH_4 (45-60%), dióxido de carbono CO_2 (aprox. 40-60%) y nitrógeno N_2 (2-5%) y otros gases en menor cantidad (Tchobanoglous, 1994). Sin embargo, esta generación de gas varía durante la vida del relleno sanitario y depende de varios factores:

- 1) Profundidad
- 2) Tipo de residuo
- 3) Contenido de Humedad
- 4) Compactación
- 5) pH
- 6) Temperatura etc.

La medición frecuente del gas de rellenos sanitarios permite controlar su acumulación y migración en el sistema. Lo más recomendable, es que se aproveche este gas y se dé un adecuado tratamiento y uso. Cuando esto no es posible, se debe quemarlo para reducir el deterioro del ambiente y evitar poner en riesgo la salud humana (EuropeAid, 2010). El monitoreo permite medir en cantidad y calidad el gas del relleno y detectar si existen fugas. Es importante considerar que el metano es un gas inflamable que si se mezcla puede transformarse en un gas altamente explosivo, por lo que el monitoreo debe ser permanente. Se recomienda ubicar por lo menos un punto de

monitoreo por celda, alrededor de un punto por hectárea. También se recomienda monitorear perforaciones fuera de las celdas de residuos para detectar su existe migración de gases y monitorear la eficiencia del sistema. Estos puntos de perforaciones pueden estar cerca de edificaciones del relleno y/o con un mínimo de 20 metros de separación del cubeto de residuos y con la misma profundidad de las celdas construidas (EuropeAid, 2010).

Se requiere para este control de gases un mínimo de 2 personas que participen como operadores de aseo. Los operadores realizarán las mediciones *insitu* de los gases y llenarán el Formato de Monitoreo de Gases.

Detalle del procedimiento:

En el Municipio de Pedro Moncayo se realizará el drenaje pasivo con chimeneas construidas manualmente que servirán de drenaje para la operación del Relleno Sanitario. Para la captación de los gases generados por la degradación de la materia orgánica contenida en las celdas, se implementarán chimeneas y su posterior quema o eliminación.

- 1) El drenaje de gases está compuesto de un sistema de ventilación y una tubería perforada de PVC construida verticalmente. Se aconseja construir chimeneas con un diámetro de 0,50m. y con una separación de 50 metros. (Gutiérrez, 2012).

e) Control de Lixiviados

Los desechos del relleno por la biodegradación generan líquidos que se percolan, los mismos son captados por el sistema de tratamiento de lixiviados. Los lixiviados pueden causar daños significativos al ambiente y cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Gutiérrez, 2012). Es por esto que es importante realizar un control permanente, que permitirá revisar varios aspectos como por ejemplo (EuropeAid, 2010):

- El correcto funcionamiento del sistema de lixiviados.
- Información del progreso de descomposición de los residuos sólidos.

Como parte del control de lixiviados es necesario entender la composición y volumen de estos lixiviados y poner en marcha los siguientes pasos (Gutiérrez, 2012):

- 1) Selección del tipo de revestimiento
- 2) Preparación y nivelación del terreno que incluya los canales y tuberías para los lixiviados.
- 3) Diseño de las instalaciones de captación de lixiviados.
- 4) Diseño del tipo de tratamiento del lixiviado.

El control de lixiviados en cuanto a volumen y composición debería realizarse por separado en los puntos de descarga de los mismos. Aunque estos puntos son específicos, deben seleccionarse los más representativos al sistema de lixiviados y para la frecuencia de tomas de muestras es adecuado ajustarse a las normas vigentes. Sin embargo, estas frecuencias deberían ser revisadas cuando se reflejan los siguientes cambios (EuropeAid, 2010):

- Prácticas de operación en el relleno sanitario.
- Cantidad y tipos de residuos.
- Tamaño de la celda
- Efectividad en el drenaje y sistema de captación de lixiviado.

Existen parámetros para el análisis de aguas lixiviadas y puntos de monitoreo clave que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4
Análisis de lixiviados Relleno Sanitario

Tipo de análisis	Frecuencia	Parámetros a analizar
Control visual regular	1 por semana (relleno grande)	Olor Temperatura Aspecto
	1 por mes (relleno pequeño)	Nivel de agua del tanque séptico Estado de tuberías
Control de aguas lixiviadas en relleno sanitario – antes y después del tratamiento	1 por año (<50 m ³ /día)	Nivel de lixiviados (En el relleno sanitario, en el punto de colección de lixiviados y en dos puntos extras de la celda)
	Cada 3 meses (50-200 m ³ /día)	Composición del lixiviado (una muestra representativa del relleno sanitario, en la laguna de lixiviados y en el punto de descarga del lixiviado tratado) Volumen del lixiviado (en el punto de descarga de lixiviado tratado)

DQO
pH
PO4-P
Cr total
Cr6+
Pb
Conductividad
F-
Cu
Zn
Cd (y todos los del Libro VI, Anexo 1, MAE)

Fuente: Adaptación de EuropeAid, 2010 y Röben, 2002

f) Elaboración de Abonos Orgánicos

La elaboración de abonos orgánicos o compostaje se realiza a partir de la degradación de los residuos orgánicos (Puerta, 2004). Este proceso biológico aerobio requiere que se mantenga condiciones adecuadas para los organismos que descomponen la materia orgánica. La presencia de oxígeno es primordial en este proceso (Bonmatí, 2008). Esta práctica puede producir varios beneficios como por:

- El compost normalmente actúa como un acondicionador y recuperador del suelo, permitiendo que la actividad biológica se incremente.
- Adicionalmente, el compost proporciona una fuente natural de nutrientes al suelo, alimento para los organismos y microorganismos que ayudan a prevenir plagas y mejorar las raíces de las planta.
- Las propiedades físicas (estructura, porosidad, permeabilidad y retención del agua), químicas (incremento intercambio catiónico, contenido de materia orgánica, niveles, macro

y micro nutrientes) y biológicas (incremento microbiano, microflora, mesofauna, y reducción de patógenos) (Puerta, 2004).

Existe varios tipos de residuos que se pueden incorporar al compost, con la condición de que se mantenga características aceptables: 1) composición adecuada con nivel alto de componentes útiles en la agronomía (N, P, K, etc), 2) higiene adecuada, 3) olor, aspecto y color aceptables (Bonmatí, 2008). Cuando se requiere elaborar abonos orgánicos a partir de residuos orgánicos urbanos, el municipio cumple un rol importante. El conjunto de actividades técnicas, operativas, administrativas y de educación ambiental que se realiza en comunidad es primordial para generar un adecuado manejo de residuos sólidos y lograr su separación desde la fuente y en cada casa de los ciudadanos (Puerta, 2004). En este caso, el Municipio de Pedro Moncayo ha considerado la alternativa de elaborar Bocashi como abono orgánico y a continuación se detalla el procedimiento de elaboración.

Detalle del procedimiento:	
a)	Se realiza la separación y reclasificación de los residuos orgánicos que ingresan al Relleno Sanitario productos de la Recolección Nocturna de los días lunes, miércoles y viernes.
b)	Una vez realizada la reclasificación se procede al picado del material orgánico en partículas de 7-10 cm con la finalidad de aumentar la superficie específica y facilitar el proceso de descomposición.
c)	Se selecciona el área para la preparación de las camas de compost, lugar que debe ser protegido de las lluvias, sol y viento, así como de animales domésticos ya que pueden interferir de forma negativa.
d)	Se transporta el material hasta el sitio elegido del área de compostaje lugar en el que permanecerá de 12 a 21 días.
e)	A parte se mezcla la levadura (aprox. 2 libras) y la melaza (aprox. 20 libras) con 200 litros de agua.

- | |
|---|
| <p>f) Los ingredientes se subdividen en partes iguales y se mezclan sin ningún orden, hasta lograr una textura homogénea (residuos vegetales, gallinaza, cascarilla, levadura, cal, melaza y agua). Se recomienda que la mezcla tenga un 40 % de humedad, una temperatura que no sobrepase los 55 °C.</p> <p>g) Finalmente se procede al volteo.</p> <p>h) A partir del segundo día de su fabricación se deben realizar volteos diarios. Es recomendable voltearlo dos veces diarias durante los primeros nueve días de fermentación. A partir del día 10 se recomienda hacer un volteo diario y en el día 19 verificar que haya disminuido la temperatura a un rango de 30 ° C. Es importante llevar un registro de la temperatura</p> |
|---|

Fuente: Gómez y Vásquez, 2011

g) Control de Molestias

Un relleno sanitario esta susceptible y puede causar varias molestias a los alrededores. Si estas molestias son tratadas de forma efectivamente, se puede mitigar los prejuicios que esta actividad genera. Las molestias de rellenos sanitarios son generalmente:

- Malos olores
- Ruido
- Insectos, roedores y pestes
- Polvo y lodo
- Tráfico de vehículos
- Incendios

1. **Malos Olores:** Existen actividades que incrementan los malos olores en los rellenos sanitarios y otras que ayudan a reducirlas (EuropeAid, 2010):

- **Malas prácticas de compactación:** Los malos olores del relleno sanitario pueden reducirse considerablemente cuando existe una adecuada compactación y cubrimiento de los desechos que llegan a los rellenos sanitarios.
- **Producción de gases:** Para reducir estos malos olores es importante se revise el sistema de gases del relleno y se dé la adecuada combustión o tratamiento a los gases en su punto final.
- **Lixiviados:** Es importante de realizar las inspecciones visuales del relleno sanitario para evitar estancamientos de lixiviados en lugares no deseados y que estos se vuelvan anaeróbicos.

2. **Ruido:** El ruido es una de la problemáticas propias de un relleno sanitario en funcionamiento. Es recomendable realizar cada mes un monitoreo mensual de este parámetro con un sonómetro (Gutiérrez, 2012). Algunas de las actividades que ocasionan ruido son:

- Descarga y carga de los residuos sólidos recuperables y no recuperables en relleno sanitario (Salas y Quesada, 2006).
- Entrada y salida de vehículos (Gutiérrez, 2012).

Con el fin de reducir los ruidos ocasionados en el relleno sanitario, se recomienda crear y diseñar una zona de amortiguamiento en la periferia del relleno. Esta zona debería ser forestada con especies que tengan una talla y follaje que reduzcan el ruido y se ubiquen en una franja de ancho entre 30 a 50 metros (Gutiérrez, 2012),

El proporcionar herramientas y equipo de protección personal contra el ruido es un requisito indispensable en las actividades propias del relleno sanitario (Gutiérrez, 2012).

La ejecución de actividades propias de la operación del relleno sanitario y que requieran el uso de vehículos o maquinaria que genere ruido debería desarrollarse en un horario específico (8h00 – 16h00) (GAD Pedro Moncayo, 2013).

3. Insectos, roedores, pájaros y pestes:

La adecuada compactación y recubrimiento de las celdas con una capa de aprox. 15 cm permite el control de aves, insectos, roedores y pestes en general del relleno sanitario (Röben, 2002). El cubrir depresiones en el relleno, con el fin de evitar estancamiento de agua, evita a que los mosquitos se proliferen y elimina las posibles fuentes de agua para roedores o animales que se encuentran en la zona (Gutiérrez, 2012).

El control de pestes se debería considerar parte del plan de manejo del relleno sanitario. En conjunto con las entidades de control ambiental es importante realizar inspecciones que identifique áreas que estén susceptibles a infestación o que ya tengan problema de los mismos. Estas inspecciones ayudarán a determinar la dimensión del problema y las posibles soluciones (por ejemplo: fumigación) (EuropeAid, 2010).

4. Polvo y Lodo:

El polvo y lodo son molestias que requieren inmediata atención por parte de los administradores y operadores del relleno sanitario. El polvo principalmente ocurre en épocas de sequía donde los

caminos secos del relleno y sus alrededores están expuestos a altas temperaturas y vientos. Esto puede ocasionar que las finas partículas molesten a los trabajadores, como a los vecinos del relleno (EuropeAid, 2010).

Se recomienda establecer un límite de velocidad adecuado que no incremente el nivel de polvo en el relleno. Además se deberá implementar riego de las vías de acceso con agua. Es adecuado realizar ésta práctica al menos dos veces al día utilizando un carro cisterna que ayude a minimizar el esparcimiento de partículas de polvo (Tobios y Obeid, 2004).

En cuanto al lodo producido por depósitos de residuos sólidos en las llantas de los vehículos es considerado una de las molestias públicas más comunes. En este caso es recomendable que se provean adecuados equipos de limpieza vehicular, antes de salir del relleno sanitario para evitar quejas de los ciudadanos. Además, es importante que se limpie los lugares del relleno en donde se forman mayor cantidad de lodo (EuropeAid, 2010). El mantenimiento semanal de cunetas principales y secundarias puede incluirse en la limpieza del relleno para evitar acumulación de basura en lugares no deseados.

5. Tráfico de vehículos

El sistema de recolección puede generar molestias con la población del Cantón de Pedro Moncayo, así como el deterioro de las vías, aceras o inconformidades la ruta del recolector. Sin embargo, el uso de los vehículos recolectores es una actividad inevitable. Por esta razón, es recomendable buscar formas que reduzcan el impacto que ocasionan, como por ejemplo:

- Revisar la ruta de recolección u optando por utilizar las vías más amplias y preferiblemente las que sean de un solo carril.
- Se puede optar por limitar el número de movimientos que deba hacer el camión recolector, así como también identificar la adecuada capacidad de los vehículos recolectores para las zonas.
- Es importante coordinar con el Municipio el mejoramiento y mantenimiento de las vías (EuropeAid, 2010).

El sistema de recolección se realiza en el la zona urbana y rural del Catón Pedro Moncayo se realiza por el Método Acera, este método consiste en la toma de recipientes con los desechos desde la acera que previamente los usuarios lo colocaron. A continuación se detalla las actividades propias de la recolección.

Detalle del procedimiento:
a) Colocación del equipo de protección personal.
b) Revisión de las condiciones de los estribos de trabajo del recolector.
c) Salida de la mecánica municipal hacia el lugar de partida de cada ruta.
d) Un operador se ubica en cada estribo de la tolva y caja de compactación.
e) En cada lugar donde se pueda identificar la existencia de fundas o recipientes por parte del conductor se realiza las paradas para que los operadores pueda tomar los diferentes recipientes colocados en la acera.
f) Se vacía el contenido (desechos) en la tolva de la caja compactadora.
g) Se regresa los recipientes hasta el punto de recolección para que los usuarios puedan ingresar a sus domicilios.
h) Una vez que la tolva haya alcanzado su capacidad máxima de volumen los operadores activan el sistema de alarma hacia la cabina principal para que el conductor realice el proceso de carga

6. Incendios

Los incendios son uno de los principales riesgos que puede ocasionarse en un relleno sanitario. La producción de gas metano con concentraciones entre los 5 a 15 % puede ocasionar explosiones que atentan contra la vida humana, y podría generar pérdida de maquinarias y otros equipos. El controlar los incendios lo más pronto posible y prevenir los mismos son parte de las prácticas más recomendables, ya que en el caso de un relleno sanitario, pueden existir materiales altamente inflamables y explosivos (Gutiérrez, 2012). Entre las actividades recomendables para prevenir incendios se encuentran:

- La construcción de chimeneas para la evacuación de gases son útiles para la prevención de incendios.
- Elaboración de un plan de emergencias contra incendios.
- Capacitación al personal del relleno
- Tener un lugar de acopio de tierra que se utilice en caso se tenga que combatir contra incendios.
- Prohibir fumar en las instalaciones del relleno.
- Realizar control y monitoreo de gases.

h) Control, tarifas de descargas, contravenciones y sanciones

La Dirección de Gestión Ambiental con el apoyo de la Comisaría Municipal ejecuta el control de cumplimiento de la ordenanza de Manejo Integral de Residuos Sólidos en el Cantón Pedro

Moncayo y normativa convexas, las mismas que indican tasas de gestión ambiental relacionados con los residuos sólidos (GAD Municipal de Pedro Moncayo, 2016).

Tabla 5

Tasas de la Dirección de Gestión Ambiental relacionadas con residuos

Tabla de valores por tasas	Tasa	Aplicación
Autorización para la disposición de residuos sólidos de las actividades económicas en el relleno sanitario del cantón	1.50 %	SBU (Salario Básico Unificado) x m ³
Recolección, Transporte y Disposición final de desechos sanitarios	0.50 %	SBU
Certificado de Registro Ambiental	2%	SBU

Fuente: GAD Municipal de Pedro Moncayo, 2016

6 Capítulo CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones:

1. Del muestreo estadístico aleatorio realizado de acuerdo a la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Organización Panamericana de la Salud, en el cantón Pedro Moncayo se determinaron tres clases de generación de residuos sólidos: residencial, comercial e industrial, de acuerdo a una distribución por parroquias. Los resultados de la producción per cápita son:

- Residencial urbano: 0.45 kg hab./día, residencial rural: 0,27 kg hab./día
- Comercial: 0,69 kg comercio/día
- Industrial: florícolas pequeñas (>1 ha) 2.20kg/día, florícolas medianas 3.68 kg/día y grandes de 10 kg/día

El nivel de confianza es de los datos obtenidos poseen un nivel de confianza del 98-99%

2. Del análisis de composición física de residuos de acuerdo a las diferentes categorías de producción per cápita realizado por el método de cuarteo durante 7 días se puede inferir en la siguiente conclusión:

La categoría residencial urbana está caracterizada por los siguientes tipos de residuos; orgánico 64,58%, papel 1,84%, cartón 3,06%, plástico rígido 4,16%, plástico suave 5,91%,

madera 0,52%, vidrio 2,79%, chatarra 1,41%, pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias 11,69%, caucho 1,10%, textil 2,02% y otro 0,92%

La categoría residencial rural está caracterizada por los siguientes tipos de residuos; orgánico 64,58%, papel 1,84%, cartón 3,06%, plástico rígido 4,16%, plástico suave 5,91%, madera 0,52%, vidrio 2,79%, chatarra 1,41%, pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias 11,69%, caucho 1,10%, textil 2,02% y otros 0,92%

La categoría comercial está caracterizada por los siguientes tipos de residuos; orgánico 11,31%, papel 8,41%, cartón 23,99%, plástico rígido 9,31%, plástico suave 15,19%, vidrio 6,36%, chatarra 8,11%, tetrapack 1,43%, textil 9,05% %, pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias 2,95% y otros 3,89%

La categoría industrial está caracterizada por los siguientes tipos de residuos; orgánico 13,54%, papel 9,58%, cartón 45,11%, plástico rígido 3,82%, plástico suave 6,78%, vidrio 2,02%, chatarra 1,29%, tetrapack 0,35%, textil 5,96%, pañales desechables, papel higiénico, toallas sanitarias 8,36%, cuero 0,13%, latas 0,13% y otros 2,92%.

3. El peso volumétrico "in situ", de la operación del cuarteo de residuos sólidos de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-AA-19-1985, para la categoría residencial urbano es de 226,55 kg/m³, residencial rural es de 115,39 kg/m³, comercial es de 120,39 kg/m³, industrial de 163,09 kg/m³, se puede inferir que la diferencia del peso volumétrico se debe a la composición de residuos de cada categoría; es decir, la categoría residencial urbana posee

un porcentaje de residuos orgánicos mayor a diferencia de las otras categorías situación que ocasiona que tenga un peso volumétrico mayor.

4. Considerando un incremento del 1% de la producción per cápita para las tres categorías, la generación de residuos para el año 2019 es 15,44 toneladas/día y para la finalización del período de diseño, año 2029 es 21,36 toneladas/día. Tomando en cuenta una densidad de compactación de 500 kg/m³, el volumen de residuos acumulado en disposición final para los 10 años de vida útil es de 146591,14 m³ (sin cobertura). El área requerida para la utilización del relleno sanitario es de 1,16 ha.
5. Se realizaron los estudios preliminares necesarios para el relleno sanitario entre ellos podemos describir los principales hallazgos.

Estudio topográfico: Se levantó la topografía cada metro de distancia, se puede evidenciar que las curvas de nivel del terreno varían de 2492,00 a 2552,00 msnm. **Estudio geológico:** el área de estudio está compuesto principalmente por 7 unidades litológicas: Areniscas de grano fino, limo arcilloso, limonita, arcilla limosa, arcillolita, intercalación de gravas -arenas y cangahua. Además señala que el predio mantiene una susceptibilidad baja en cuanto a la ocurrencia de un movimiento en masa, lo que permite definir una zona estable. **Estudio Suelo:** el nivel freático se encuentra a profundidades mayores a 30m **Climatológico:** se pueden identificar dos estaciones definidas: una donde las lluvias son más abundantes en el mes de abril y el segundo período durante los meses de octubre a noviembre. Los meses de agosto y septiembre son los que presentan el mayor valor de temperatura, mientras que los meses de enero y febrero son los que presentan valores ligeramente más bajos con respecto

a la media anual. **Hidrológico:** la zona de estudio no presenta sistemas hídricos significativos al contar con un clima semi-árido el campo hídrico no representa amenazas significativas para la ejecución de obras civiles

6. De acuerdo a la metodología empleada la producción de biogás corresponde a 0,41 m³/kg RSU, esta es la cantidad de gas que se puede producir en condiciones óptimas; es decir, considerando que toda la materia está disponible para la descomposición, para el efecto se consideró la distribución porcentual de los residuos que ingresa al relleno con la fórmula química que representa la reacción.
7. La producción de lixiviados generados en la disposición de residuos sólidos es de 1,23m³/día para el año 2019, considerando la aportación de agua por las características del lugar de emplazamiento, de los desechos, material de cobertura y egresos de agua a partir de la reacción de formación de lixiviados.

6.2 Recomendaciones

1. El Municipio de Pedro Moncayo puede considerar la opción de realizar el proyecto de recolección diferenciada, tomando en cuenta la caracterización de composición física de los diferentes sectores de generación, con la finalidad de aprovechar los residuos orgánicos y residuos inorgánicos (reciclables). De acuerdo a los resultados obtenidos para el sector residencial urbano se podría considerar implementar dos tipos de recolección orgánicos e inorgánicos, con días equitativos por la cantidad generada. Para sector comercial e industrial

se puede considerar la recuperación de residuos inorgánicos considerando que los valores de composición son mayores en este grupo.

2. Considerar las recomendaciones de operación, mantenimiento y puesta en marcha para el funcionamiento del relleno sanitario contempladas en el Manual de Operaciones realizado en el proyecto de titulación.
3. Considerar la elaboración de estudios con respecto a alternativas de tratamiento para gestión de lixiviados en el relleno sanitario, las mismas que deberán ser evaluadas de acuerdo a criterios técnicos, económicos y ambientales.
4. En el cantón Pedro Moncayo al tener una incidencia alta de la presencia de sector industrial (florícolas), se recomienda al GAD de Pedro Moncayo realizar un estudio de caracterización de desechos específico en este sector, con la finalidad de contribuir a la toma de decisiones que mejore la gestión de desechos del Cantón.

6.3 Bibliografía

- Agencia Alemana de Cooperación Técnica. (Noviembre del 2014). *Manual de construcción y operación de rellenos sanitarios en Honduras*. Chile: GIZ.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad-ARCONEL. (29 de Enero de 2016). Pliego Tarifario para las Empresas Electricas. Ecuador.
- Almorox, J. (s.f). *Metodos de estimación de las evapotranspiraciones ETP y ETR*. Obtenido de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/evapotranspiraciones/metodosevapotranspiraciones.pdf>
- Alvaréz , M., Cuenca , E., Echeverría , C., García , P., Mariño, D., Pantoja, F., Yepéz, A. (2018). *Estudio geológico y geomecánico del la zona donde opera el relleno sanitario del Cantón Pedro Moncayo*. Universidad Central .
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2017). Código orgánico del ambiente, Registro Oficial Suplemento 983. Quito.
- Bonmatí A. (2008). Capítulo 8. Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. España.
- Camargo , Y., & Velez, A. (Septiembre de 2009). Emisiones de biogas producidas en rellenos sanitarios . Santa Marta, Colombia: Universidad del Magdalena.
- Cano, L. (25 de Julio de 2016). Cuantificación del porcentaje de humedad y cenizas contenidos en los residuos sólidos urbanos de la parroquia de Limoncocha. Quito, Ecuador.
- Carrera, J. (2015). Elaborar el plan de manejo ambiental de los residuos sólidos del Cantón (tesis de maestría). Sangolquí. : Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Castillo, M. (2012). *Consultoría para la realización de un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos domésticos y asimilables a domésticos para el Distrito Metropolitano de Quito*. Quito.
- Catucuago, L. (20 de Julio de 2017). Ingeniero. (K. Hidalgo, Entrevistador)
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente . (2005). Guía para caracterización de residuos sólidos domiciliarios . Bogotá.
- Collazos, H. (2005). *Diseño y operación de rellenos sanitarios 4a. Edición*. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Corporación Alemana para la Cooperación Internacional. (2014). *Manual de construcción y operación de relleno sanitario en Honduras*. Honduras.
- Davila, M. (2013). *Elaboración de los estudios del proyecto gestión integral de residuos sólidos en el cantón Pedro Moncayo en el marco de la convocatoria dela unión europea de autoridades locales*. Tabacundo.
- Eguizabal, R. (s.f.). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Esquinca, F., Escobar, J. L., Hernández, A., & Villalobos, J. J. (s.f.). Carcterización y generación de los residuos sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- EuropeAid. (2010). Waste governance—ENPI east: landfill operations guidance manual. European neighborhood partnership instrument east region, Brussels, Belgium
- Fernández, I. (2010). Diseño y factibilidad de relleno sanitario manual para el Municipio de la Libertad, Departamente la Libertad. Univesitaria, El Salvador .
- GAD Municipal de Pedro Moncayo. (2013). Estudio de impacto ambiental y plan de manejo del relleno sanitario del Cantón de Pedro Moncayo. Tabacundo
- GAD Municipal de Pedro Moncayo. (2016). La Ordenanza sustitutiva que regula la determinación, administración, control y recaudación de tasas por servicios técnicos y administrativos en el Cantón de Pedro Moncayo.
- Gómez D. y Vásquez M. (2011). Serie: Producción orgánica de hortalizas de clima Templado – abonos orgánicos. Honduras
- Gutiérrez, V. (2012). Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios. Bolivia.
- Guzmán, M., Himilce, C., & Manzanares, M. (s.f.). El manejo de los residuos sólidos municipales : un enfoque antropológico. San Luis de Potosí, México .
- Halstead, J., Huang, J., & Saunders , S. (2007). Analyzing Unit Pricing of Waste Manage–ment Using Treatment Effects Models. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 401-402.
- Ibanez, S., Moreno, H., & Blanquer , J. (s.f.). *Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (c): <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10781/Coeficiente%20de%20escorrent%20%ADa.pdf>

- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a Nivel Nacional. Escala 1:25000*. Quito.
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Antioquia : Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Manzano , M. (2008). *Hidrología subterránea (ITOP)/ hidrogeología (ITM)*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cartagena : https://www.upct.es/~minaees/hidrogeologia_1.pdf
- Marshall, R., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 988-1003.
- Ministerio de Ambiente. (17 de Mayo de 2012). ANEXO 6. Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Montoya, A. (2012). Caracterización de residuos sólidos. *Cuaderno ACTIVA*, 67-72.
- Montoya, D., & Erazo, V. (2013). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Escala 1:25.000*". Quito.
- Norma Mexicana nmx-AA-15-1985. (6 de Noviembre de 1992). *Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-muestreo-método de cuarteo*. México.
- Norma Mexicana mx-aa-19-1985. (1992). *Protección al ambiente contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - peso volumétrico "in situ"*. México.
- Norma Mexicana nmx-aa-61-1985. (6 de noviembre de 1992). *Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - determinación de la generación*. México.
- Organización Panamericana de la Salud. (Junio de 2005). *Procedimientos Estadísticos para los Estudios de Caracterización de Residuos Sólidos*. Lima, Peru: CEPIS.
- Poletto, J., & Celso, S. (2009). Influencia de la Separación de Residuos Sólidos Urbanos para Reciclaje en el Proceso de Incineración con Generación de Energía. *SciELO*, 105-112.
- Puerta S. M. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos.
- Rodriguez, M., Toledo, W., & Meraz, R. (2004). *Diseño de un modelo matemático de la generación de residuos sólidos municipales en Nicolás Romero, Mexico*. México: Centro

Interdisciplinario de Investigación y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD) del Instituto Politécnico Nacional.

Rollandi, R. (Julio de 2006). Características de los Residuos Sólidos Urbanos .

Salas J. y Quesada H. (2006). Impacto ambiental del manejo de desechos sólidos ordinarios en una comunidad rural. España.

Serret, N., Giralt, G., & Quintero, M. (2016). *Caracterización de aserrín de diferentes maderas*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&tlng=es.

Subdirección General de Calidad Ambiental. (Septiembre de 2003). Desarrollo técnico del R.D. 1481/2001 relativo a las Instalaciones de vertido de residuos . España .

Tobios, M. y Obeid, A. (2004). Plan de Manejo Ambiental para el Relleno Sanitario del Municipio de Coveñas (Sucre). Sincelejo.

Townsend, T. G., Powell, J., Jain, P., Xu, Q., Tolaymat, T., & Reinhart, D. (2015). Landfill Air Addition. In *Sustainable Practices for Landfill Design and Operation* (pp. 313-343). Springer, New York,

Worrell, W.A., Vesilind, P.A., 2012. *Solid Waste Engineering*, second ed. Cengage Learning, Stamford, CT.