



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“DISEÑO DEL NUEVO RELLENO SANITARIO, EN ZONA INUNDABLE; DEL
CANTÓN SAN JACINTO DE YAGUACHI”**

PROYECTO DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

ARIANA SOLANGE CONDOY ARMIJOS

OMAR ANDRES RODRIGUEZ MURILLO

GUAYAQUIL-ECUADOR

2018

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y a la Virgen María por ser mi fortaleza espiritual, a mis padres Roberth Condoy Blacio y Janneth Armijos Molina, y a mi hermano David por su amor, paciencia, sabios consejos, sacrificio y apoyo a través de los años, haciendo de esta etapa de mi vida una caminata más comfortable y armoniosa.

A mi familia y amigos, por su aprecio y cariño.

Ariana Solange Condoy Armijos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo fruto del esfuerzo de cinco años de carrera en primer lugar a Dios.

A mis Padres Omar Rodriguez y Mónica Murillo, y mi hermana Mishell que me brindaron su amor y sabiduría en este largo camino en el que me ayudaron a crecer en lo personal y profesional. A mi familia y mis amigos que formaron parte de este recorrido con su compañía, apoyo y cariño.

Omar Andrés Rodríguez Murillo

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y a todos los profesores de la Facultad de Ciencias de la Tierra que han contribuido en nuestra formación académica.

Ariana Solange Condoy Armijos

Omar Andrés Rodríguez Murillo

TRIBUNAL DEL PROYECTO

Ph.D. Hugo Egüez Alava
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ph.D. Miguel Ángel Chávez
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

Ph.D. David Matamoros Camposano
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la
ESPOL)

Ariana Solange Condoy Armijos

Omar Andrés Rodríguez Murillo

RESUMEN

El cantón San Jacinto de Yaguachi posee un relleno sanitario que está muy próximo a finalizar su vida útil.

El presente trabajo propone un nuevo diseño de la solución para la disposición final de desechos sólidos, teniendo en cuenta que toda el área que rodea la población es inundable. Esta situación que no ha sido considerada anteriormente implica una adecuación en la cimentación del relleno sanitario, lo que implica disponer de un terraplén de base de 1.5m de altura.

El material para construir el terraplén va a ser obtenido del cauce del río Yaguachi, con lo que se logra también mejorar las condiciones hidráulicas de dicho río, evitando los desbordes o inundaciones.

El cuerpo de relleno sanitario es piramidal y puede llegar a tener una altura de 27.75m, tiene 3 bermas de 8m de ancho y otras menores de 4m, los taludes son siempre de pendiente 2:1.

Es un cuerpo de desechos perfectamente estable desde el punto de vista geotécnico, se ha logrado una vida útil de 40 años para lo cual se ha establecido un presupuesto para el manejo económico del proyecto.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	IV
TRIBUNAL DEL PROYECTO	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ABREVIATURAS	XIX
SIMBOLOGÍA	XX
ÍNDICE DE FIGURAS	XXI
ÍNDICE DE TABLAS	XXIV
CAPÍTULO 1.....	31
INTRODUCCIÓN	31
1.1. Introducción	32
1.2. Información general	33

1.3.	Definición del problema	34
1.4.	Justificación	36
1.5.	Objetivos.....	37
1.5.1.	Objetivo General.....	37
1.5.2.	Objetivos Específicos	37
1.6.	Metodología.....	38
CAPÍTULO 2.....		41
MARCO TEÓRICO		41
2.1.	Antecedentes.....	42
2.2.	Desechos sólidos urbanos.....	42
2.2.1.	Tipos de desechos sólidos	43
2.2.2.	Composición de los desechos sólidos	45
2.2.3.	Tasa de producción de los desechos sólidos	47
2.3.	Botadero a cielo abierto.....	50
2.4.	Disposición de desechos sólidos en cuerpos de agua superficiales	51
2.5.	Quema de desechos sólidos a campo abierto.....	52
2.6.	Entierro de los desechos solidos	53
2.7.	Relleno sanitario	53
2.7.1.	Tipos de relleno sanitario.....	56
2.7.2.	Métodos de construcción de rellenos sanitarios	59
2.7.3.	Uso potencial del relleno sanitario luego del cierre	68

2.8.	Reacciones que ocurren en un relleno sanitario.....	69
2.8.1.	Cambios físicos, químicos y biológicos	69
2.8.2.	Gases y lixiviados en un relleno sanitario.....	73
2.9.	Características estructurales de los rellenos sanitarios.....	77
2.10.	Componentes principales de un relleno sanitario	78
2.10.1.	Acceso al relleno sanitario.....	78
2.10.2.	Red de vías de un relleno sanitario	79
2.10.3.	Frente de trabajo	81
2.10.4.	Preparación del terreno natural	81
2.10.5.	Celda diaria	82
2.10.6.	Material de cobertura.....	84
2.10.7.	Capa de drenaje	85
2.10.8.	Chimeneas de gases.....	87
2.10.9.	Cierre técnico	88
2.10.10.	Infraestructura adicional	89
2.11.	Criterios de selección de sitio	90
CAPÍTULO 3.....		118
MARCO LEGAL		118
3.1.	Leyes Nacionales	119
3.1.1.	Constitución de la República del Ecuador	119
3.1.2.	Ley de Gestión Ambiental.....	121
3.1.3.	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.....	122

3.1.4.	Código Penal.....	124
3.1.5.	Código de Salud	126
3.1.6.	Ley de Preservación y control de la contaminación ambiental ...	128
CAPÍTULO 4.....		129
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO		129
4.1.	Localización geográfica y área del proyecto.....	130
4.2.	Aspectos Naturales	131
4.2.1.	Geología.....	131
4.2.2.	Topografía	132
4.2.3.	Clima	133
4.2.4.	Hidrología	134
4.2.5.	Recursos Naturales	134
4.2.6.	Uso actual y potencial del suelo	135
4.2.7.	Riesgos Naturales	136
4.3.	Aspectos socioeconómicos	136
4.3.1.	Tasa de crecimiento demográfico.....	136
4.3.2.	Densidad poblacional	138
4.3.3.	Población por grupo étnico	139
4.3.4.	Población según el sexo.....	140
4.3.5.	Población según la edad	141
4.3.6.	Población según el nivel de instrucción académico.....	142
4.3.7.	Procedencia de energía eléctrica de la vivienda	143

4.3.8.	Método de eliminación de la basura	144
4.3.9.	Disponibilidad de teléfono convencional.....	144
4.3.10.	Disponibilidad de computadora en el hogar.....	146
4.3.11.	Disponibilidad de servicio de internet	146
CAPÍTULO 5.....		148
TRABAJO DE CAMPO		148
5.1.	Levantamiento topográfico	149
5.2.	Ensayos de Suelos.....	155
5.2.1.	Ensayos IN SITU	160
5.2.1.1.	Permeabilidad.....	160
5.2.2.	Ensayos de Laboratorio.....	160
5.2.2.1.	Contenido de Humedad.....	160
5.2.2.2.	Granulometría.....	163
5.2.2.3.	Límites de Atterberg	168
5.2.2.4.	Prueba de Compresión Simple.....	175
5.2.2.5.	Proctor	177
CAPÍTULO 6.....		179
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		179
6.1.	Alternativa 1.....	180
6.2.	Alternativa 2.....	180
6.3.	Alternativa 3.....	181

6.4.	Restricciones	182
6.4.1.	Alternativa 1.....	183
6.4.2.	Alternativa 2.....	184
6.4.3.	Alternativa 3.....	184
6.5.	Alternativa seleccionada.....	185
6.6.	Selección del sitio.....	186
CAPÍTULO 7		190
DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO		190
7.1.	Relleno sanitario	191
7.1.1.	Relleno con material del Río Chimbo	191
7.2.	Análisis de los desechos solidos	193
7.2.1.	Determinación de la tasa de producción de residuos solidos	194
7.2.2.	Determinación de la composición de residuos solidos	194
7.2.3.	Densidad	196
7.3.	Dimensionamiento de los componentes del relleno sanitario	197
7.3.1.	Periodo de operación	197
7.3.1.1.	Proyección de la población.....	197
7.3.1.2.	Proyección de la generación de desechos solidos	200
7.3.2.	Área requerida para la elaboración de compost.....	202
7.3.3.	Diseño de la planta de reciclaje	206
7.3.3.1.	Tolva de recepción	210
7.3.3.2.	Trómel separador	211

7.3.3.3. Banda clasificadora	215
7.3.3.4. Prensa hidráulica.....	222
7.3.3.5. Balanza.....	223
7.1.1. Diseño del relleno sanitario	224
7.1.1.1. Diseño de las características geométricas de las celdas	225
7.1.1.2. Material de cobertura.....	230
7.1.1.3. Capa base del relleno sanitario	233
7.1.1.4. Capa de drenaje de lixiviados.....	234
7.1.1.5. Laguna de lixiviados	239
7.1.1.6. Biogás	240
7.1.1.7. Obras complementarias	245
7.1.1.7.1. Cerramiento	245
7.1.1.7.2. Edificio de operación.....	246
7.1.1.7.3.Vías internas	247
CAPÍTULO 8.....	248
OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO	248
8.1. Recursos técnicos y humanos.....	249
8.1.1. Personal de trabajo	249
8.1.2. Maquinaria y equipos	251
8.1.3. Balanza de camiones	252
8.1.4. Herramientas menores	253
8.2. Plan de operación.....	253

8.2.1.	Condiciones generales	254
8.2.1.1.	Horario de operación	254
8.2.1.2.	Procedencia de los desechos.....	254
8.2.2.	Ingreso al relleno sanitario.....	255
8.2.3.	Descarga de los desechos sólidos	256
8.2.4.	Procesamiento de los desechos sólidos.....	257
8.2.5.	Almacenamiento de materiales recuperados.....	258
8.2.6.	Producción de compost	259
8.2.7.	Plan de construcción del cuerpo de desechos	260
8.2.8.	Construcción de las celdas diarias	261
8.2.9.	Material de cobertura diario	262
8.2.10.	Control de lixiviados	263
8.2.11.	Control de gases	264
8.3.	Clausura del relleno sanitario	266
CAPÍTULO 9.....		267
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL		267
9.1.	Antecedentes.....	268
9.2.	Descripción general del área de estudio	268
9.3.	Descripción de la línea de base.....	268
9.3.1.	Aire	269
9.3.2.	Agua	269
9.3.3.	Suelo	270

9.3.4.	Factor biológico	270
9.3.5.	Factor socioeconómico.....	270
9.4.	Descripción de las actividades a evaluar.....	271
9.5.	Evaluación de impacto ambiental	271
9.5.1.	Matriz de intensidad	272
9.5.2.	Matriz extensión	272
9.5.3.	Matriz de duración	272
9.5.4.	Matriz de Signo o de bondad de impacto	273
9.5.5.	Matriz de magnitud	273
9.5.6.	Matriz de Reversibilidad	274
9.5.7.	Matriz de riesgo	274
9.5.8.	Matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A)	274
9.5.9.	Rango de significancia de la matriz V.I.A	275
9.6.	Plan de Manejo Ambiental.....	276
9.6.1.	Encargados de obra	277
9.6.2.	Obreros.....	277
9.6.3.	Área perimetral de la obra	278
CAPÍTULO 10		281
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		281
Conclusiones		282
Recomendaciones		285

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
PNGIDS	Plan Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
MAE	Ministerio del Ambiente del Ecuador
PAE	Plan Ambiental del Ecuador
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
GNSS	Global Navigation Satellite System
IGM	Instituto Geográfico Militar
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación del Suelo
V.I.A.	Valoración de Impacto Ambiental

SIMBOLOGÍA

m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
Ha	Hectáreas
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
K	Coeficiente de permeabilidad
SO ₂	Dióxido de azufre
W%	Contenido de humedad en porcentaje
LL	Limite líquido
LP	Limite plástico
IP	Índice de plasticidad

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de la población por parroquia.....	35
Figura 1.2 Botadero de basura actual.....	36
Figura 2.1. Método de zanja	63
Figura 2.2 Método de área.....	66
Figura 2.3. Método combinado.....	67
Figura 2.4 Parque recreativo André Jarlan	69
Figura 4.1. Ubicación del botadero actual.....	131
Figura 4.2. Mapa litológico del cantón Yaguachi.....	132
Figura 4.3 Tasa de crecimiento del cantón Yaguachi	138
Figura 4.4 Distribución de la población según el grupo étnico	140
Figura 4.5 Número de habitantes por sexo	141
Figura 4.6 Población por edad	142
Figura 4.7 Población según el nivel de instrucción académica	143
Figura 4.8 Procedencia de la energía eléctrica.....	144
Figura 4.9 Método de eliminación de la basura	145
Figura 4.10 Número de viviendas con servicio telefónico	145
Figura 4.11 Número de viviendas con computadora.....	146
Figura 4.12 Número de viviendas con acceso a servicio de internet	147

Figura 5.1 Equipo GNSS.....	149
Figura 5.2 Ubicación del punto IGM para el levantamiento.....	150
Figura 5.3 Placa del punto IGM.....	151
Figura 5.4 Ubicación de los puntos dentro del terreno.....	152
Figura 5.5. Punto 1.....	153
Figura 5.6 Punto 2.....	153
Figura 5.7 Punto 3.....	154
Figura 5.8 Levantamiento con dron.....	155
Figura 5.9 Plano topográfico	156
Figura 5.10 Calicata 1	157
Figura 5.11 Calicata 2	157
Figura 5.12 Calicata 3	158
Figura 5.13 Ensayo de permeabilidad in situ	161
Figura 5.14 Curva granulométrica del estrato 1	164
Figura 5.15 Curva granulométrica del estrato 2	165
Figura 5.16 Curva granulométrica del estrato 3	166
Figura 5.17 Curva granulométrica de la arena del rio Yaguachi	167
Figura 5.18 Núcleo ensayado de muestra A	176
Figura 5.19 Núcleo ensayado de muestra B	177
Figura 5.20 Curva del ensayo Proctor.....	178
Figura 7.1 Detalle de construcción del terraplén.....	193
Figura 7.2 Flujo de desechos en la planta de reciclaje	208

Figura 7.3 Esquema de la planta de reciclaje	209
Figura 7.4 Esquema de dimensiones de mostrador	216
Figura 7.5 Esquema del banco de trabajo	217
Figura 7.6 Dimensiones de prensa hidráulica	224
Figura 7.7 Detalle de celdas y cobertura diaria	225
Figura 7.8 Esquema del cuerpo de desechos	231
Figura 7.9 Vista en planta del cuerpo de desechos	232
Figura 7.10 Cimentación del cuerpo de desechos	234
Figura 7.11 Proyección del lixiviado	237
Figura 7.12 Red de drenaje de lixiviados	238
Figura 7.13 Esquema de instalación de drenes	239
Figura 7.14 Producción de gas	241
Figura 7.15 Esquema del mechero de gases.....	243
Figura 7.16 Esquema del dren y chimenea en fase de operación	244
Figura 8.1 Avance de construcción del cuerpo de desechos	261

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Distribución de la población por parroquia.....	34
Tabla II. Recomendaciones para la selección del tipo de relleno sanitario	60
Tabla III. Determinacion de la aptitud del sitio	90
Tabla IV. Evaluación de la superficie disponible para rellenar con desechos	91
Tabla V. Evaluación del área disponible para lagunas de lixiviados.....	91
Tabla VI. Evaluación de la superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares	92
Tabla VII. Criterios de evaluación de la topografía del terreno	92
Tabla VIII. Identificación de las barreras naturales.....	92
Tabla IX. Evaluación del potencial a futuro del sitio	92
Tabla X. Evaluación de la vida útil estimada	93
Tabla XI. Evaluación según la pertenencia del terreno	93
Tabla XII. Evaluación según la cercanía a poblados	93
Tabla XIII. Evaluación según la distancia a zonas protegidas	94
Tabla XIV. Evaluación según la distancia a sitios de recreación	94
Tabla XV. Evaluación según la distancia a sembríos o zonas agrícolas	95
Tabla XVI. Evaluación según la distancia a zonas industriales	95
Tabla XVII. Evaluación según el medio de acceso al sitio.....	95

Tabla XVIII. Evaluación según la distancia a una infraestructura relacionada al manejo de desechos solidos	96
Tabla XIX. Evaluación según el acceso a agua potable	96
Tabla XX. Evaluación según la disponibilidad de alcantarillado sanitario	96
Tabla XXI. Evaluación según la existencia de drenaje pluvial	97
Tabla XXII. Evaluación según el estado de las vías de acceso	97
Tabla XXIII. Evaluación según la conexión del sitio a las vías de acceso	97
Tabla XXIV. Evaluación según la disponibilidad se servicio eléctrico y telefónico	97
Tabla XXV. Evaluación según el impacto estético al paisaje	98
Tabla XXVI. Evaluación según la afectación a la capa vegetal	98
Tabla XXVII. Evaluación según la afectación a la flora y fauna	98
Tabla XXVIII. Evaluación según la afectación arqueológica	99
Tabla XXIX. Evaluación según el impacto visual	99
Tabla XXX. Evaluación según la permeabilidad del suelo	99
Tabla XXXI. Evaluación según las características del suelo	100
Tabla XXXII. Evaluación según la cercanía a captaciones de agua superficiales	100
Tabla XXXIII. Evaluación según la cercanía a fuentes de agua superficiales	101
Tabla XXXIV. Según la ubicación del nivel freático	101
Tabla XXXV. Según la complejidad del drenaje de aguas superficiales	101
Tabla XXXVI. Según la amenaza de inundaciones	101

Tabla XXXVII. Según la producción estimada de lixiviado	102
Tabla XXXVIII. Según la posibilidad de conexión a una planta de tratamiento de aguas residuales.....	102
Tabla XXXIX. Según el método de descarga	102
Tabla XL. Según la dispersión de los contaminantes en el viento	103
Tabla XLI. Según la frecuencia de presencia de neblina	104
Tabla XLII. Según la frecuencia de inversiones atmosféricas	104
Tabla XLIII. Según la dispersión de los contaminantes en el viento al interior del complejo del relleno	105
Tabla XLIV. Evaluación según la frecuencia de neblina.....	105
Tabla XLV. Evaluación según la frecuencia de inversiones atmosféricas	105
Tabla XLVI. Evaluación según la concentración de polvo y aerosoles.....	106
Tabla XLVII. Evaluación según la concentración de dióxido de azufre	106
Tabla XLVIII. Evaluación según la presencia de gases de tubos de escape	106
Tabla XLIX. Evaluación según la contaminación olfatoria.....	107
Tabla L. Evaluación según el nivel de ruido generado	107
Tabla LI. Evaluación según la producción de polvo en la operación	107
Tabla LII. Evaluación según la producción de polvo en caso de accidentes	107
Tabla LIII. Evaluación según el ruido generado en operación.....	108
Tabla LIV. Evaluación según el ruido generado por el trafico en la via de acceso	108
Tabla LV. Evaluación según la dispersión de materiales volátiles	109

Tabla LVI. Evaluación según el material de cobertura y de fondo.....	109
Tabla LVII. Evaluación según la disponibilidad de material de cobertura diaria .	109
Tabla LVIII. Evaluación según el material para la re-cultivación luego del cierre	110
Tabla LIX. Evaluación según las propiedades del suelo para excavación	110
Tabla LX. Evaluación según la accesibilidad al material para excavación	110
Tabla LXI. Evaluación según el riesgo de incendio	111
Tabla LXII. Evaluación según el riesgo de explosiones	111
Tabla LXIII. Evaluación según el riesgo de deslizamiento de tierra	112
Tabla LXIV. Evaluación según el riesgo sísmico.....	112
Tabla LXV. Evaluación según el riesgo de accidentes de transporte.....	112
Tabla LXVI. Evaluación según el riesgo de actividad volcánica.....	113
Tabla LXVII. Evaluación según el riesgo de asentamientos del terreno.....	113
Tabla LXVIII. Evaluación según los requerimientos de drenaje y tratamiento de los lixiviados.....	114
Tabla LXIX. Evaluación según los requerimientos de drenaje de aguas superficiales	114
Tabla LXX. Evaluación según los requerimientos de drenaje e incineración del gas	115
Tabla LXXI. Resumen de criterios de evaluación para la selección del sitio	115
Tabla LXXII. Coordenadas del terreno	130
Tabla LXXIII. Registro de precipitación	¡Error! Marcador no definido.

Tabla LXXIV. Clasificación de la población por grupo étnico.	139
Tabla LXXV. Método de eliminación de la basura.....	145
Tabla LXXVI. Coordenadas de los puntos	152
Tabla LXXVII. Estratigrafía de la calicata 1	158
Tabla LXXVIII. Estratigrafía de la calicata 2	159
Tabla LXXIX. Estratigrafía de la calicata 3	159
Tabla LXXX. Determinación del contenido de humedad	161
Tabla LXXXI. Determinación del contenido de humedad	162
Tabla LXXXII. Determinacion del contenido de humedad	162
Tabla LXXXIII. Determinación del contenido de humedad	163
Tabla LXXXIV. Granulometría del estrato 1	164
Tabla LXXXV. Granulometría del estrato 2	165
Tabla LXXXVI. Granulometría del estrato 3	166
Tabla LXXXVII. Granulometría de la muestra del río	167
Tabla LXXXVIII. Determinacion del límite líquido del estrato 1	168
Tabla LXXXIX. Registro del logaritmo del	169
Tabla XC. Determinación del límite plástico	169
Tabla XCI. Límites de Atterberg e IP	170
Tabla XCII. Determinación del límite líquido del estrato 2	170
Tabla XCIII. Registro del logaritmo del.....	171
Tabla XCIV. Determinación del límite plástico.....	172
Tabla XCV. Límites de Atterberg e IP.....	172

Tabla XCVI. Determinación del límite líquido del estrato 3.....	173
Tabla XCVII. Registro del logaritmo del.....	174
Tabla XCVIII. Determinación del límite plástico.....	174
Tabla XCIX. Límites de Atterberg e IP.....	175
Tabla C. Restricciones para la evaluación de alternativas	182
Tabla CI. Evaluación de la alternativa 1	183
Tabla CII. Evaluación de la alternativa 2	184
Tabla CIII. Evaluación de la alternativa 3	185
Tabla CIV. Puntuación de la alternativa seleccionada según los criterios de evaluación del sitio.....	187
Tabla CV. Estimación del numero de rollos.....	193
Tabla CVI. Tasas de producción de	194
Tabla CVII. Composición típica de los residuos	195
Tabla CVIII. Densidad de los desechos sólidos.....	196
Tabla CIX. Población y tasa de crecimiento del cantón Yaguachi.....	198
Tabla CX. Proyección de la población.....	198
Tabla CXI. Proyección de la producción de.....	200
Tabla CXII. Criterios técnicos para la elaboración de compost	202
Tabla CXIII. Determinacion del área requerida para la producción	204
Tabla CXIV. Cuantificación de los materiales.....	207
Tabla CXV. Determinación del flujo de desechos.....	212
Tabla CXVI. Dimensiones	216

Tabla CXVII. Dimensiones del.....	217
Tabla CXVIII. Dimensiones de la banda clasificadora	218
Tabla CXIX. Tasa de recuperación de.....	218
Tabla CXX. Cuantificación del material recuperado durante el periodo de operación del proyecto.....	218
Tabla CXXI. Determinación del requerimiento de personal para la recuperación de material reciclable durante la operación del proyecto	220
Tabla CXXII. Características de la banda seleccionada para la banda clasificadora.....	222
Tabla CXXIII. Características de la prensa hidráulica seleccionada.....	223
Tabla CXXIV. Características de la balanza electrónica	224
Tabla CXXV. Proyección del volumen de desechos a depositar en el relleno sanitario	226
Tabla CXXVI. Proyección del requerimiento de volumen de material de cobertura.....	227
Tabla CXXVII. Proyección del volumen total.....	228
Tabla CXXVIII. Diseño del cuerpo de desechos del relleno sanitario.....	229
Tabla CXXIX. Recomendaciones para la construcción de la capa de drenaje de lixiviados	235
Tabla CXXX. Proyección del caudal de.....	236
Tabla CXXXI. Personal requerido para la operación	249

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Los desechos sólidos se producen en las actividades y acciones diarias de las comunidades. El volumen de desechos está en función directa del número de habitantes.

Los principales problemas que genera la acumulación de basura tienen que ver con la salubridad, con la limpieza, el orden y en definitiva el buen vivir de la población.

En décadas pasadas la basura se arrojaba en cualquier sitio y muchas veces en quebradas y muy cerca de depósitos de agua. De esta forma se producía un efecto directo de contaminación y afectaciones a la salud de las personas.

Con el pasar del tiempo los métodos para la disposición final de los desechos sólidos han ido mejorando y siendo más responsable con respecto al daño que pueden causar al ambiente estos desechos.

El relleno sanitario es un método económico y aceptable para la disposición final de los desechos sólidos. Su operación radica en compactar y cubrir al final de cada día con una capa de suelo los desechos. La mayor ventaja de un relleno sanitario su funcionamiento, el

terreno puede ser destinado para otro tipo de propósitos como campos de golf o parques.

En el presente proyecto, se realizará el diseño de un relleno sanitario para el cantón Yaguachi.

1.2. Información general

San Jacinto de Yaguachi es un cantón ubicado en la provincia del Guayas a 40 minutos de la ciudad de Santiago de Guayaquil, tiene una extensión de terreno de 512,56km² que abarca sus 90 recintos y 18 caseríos, ordenados territorial y políticamente en 4 parroquias, de las cuales 3 son rurales: Gral. Pedro J. Montero, Virgen de Fátima y Yaguachi Viejo, y una parroquia urbana que es Yaguachi Nuevo.

La división política del cantón se encuentra claramente definida y sus límites están establecidos al norte con el cantón Samborondón y la margen izquierda del Río Babahoyo, por el noreste limita con el cantón Alfredo Baquerizo Moreno, al este con el cantón Milagro, al sur con el cantón Naranjal y al sureste los límites se establecen con los cantones Crnel. Marcelino Maridueña y La Troncal.

En este cantón desarrollan sus actividades cotidianas 60.958 habitantes; según los datos publicados por el INEC en el censo del año 2010, y cuya población económicamente activa se dedica principalmente a las actividades comerciales, agrícolas y ganaderas.

Tabla I. Distribución de la población por parroquia

PARROQUIA	URBANO	RURAL	Total
GRAL. PEDRO J. MONTERO	-	8,195	8,195
VIRGEN DE FATIMA	-	14,189	14,189
YAGUACHI NUEVO	17,806	8,811	26,617
YAGUACHI VIEJO (CONE)	-	11,957	11,957
Total	17,806	43,152	60,958

Fuente: INEC, 2010.

La distribución de la población presente en las diferentes parroquias que conforman el cantón se puede observar en la tabla mostrada a continuación. En esta tabla se indica que el 44% de la población del cantón está asentada en la parroquia urbana Yaguachi Nuevo, siendo la parroquia más poblada de todo el cantón.

1.3. Definición del problema

Se ha evidenciado que el manejo y la disposición final de los desechos sólidos es una problemática de carácter urgente en las parroquias del cantón, debido a la falta de instalaciones adecuadas para el desarrollo de actividades que sigan las normas ambientales para la disposición final de

desechos sólidos. Esto ha generado preocupación en la población por la posibilidad de transmisión de enfermedades por medio de vectores biológicos como insectos o roedores capaces de transportar virus que representan un peligro para la salud de los habitantes.

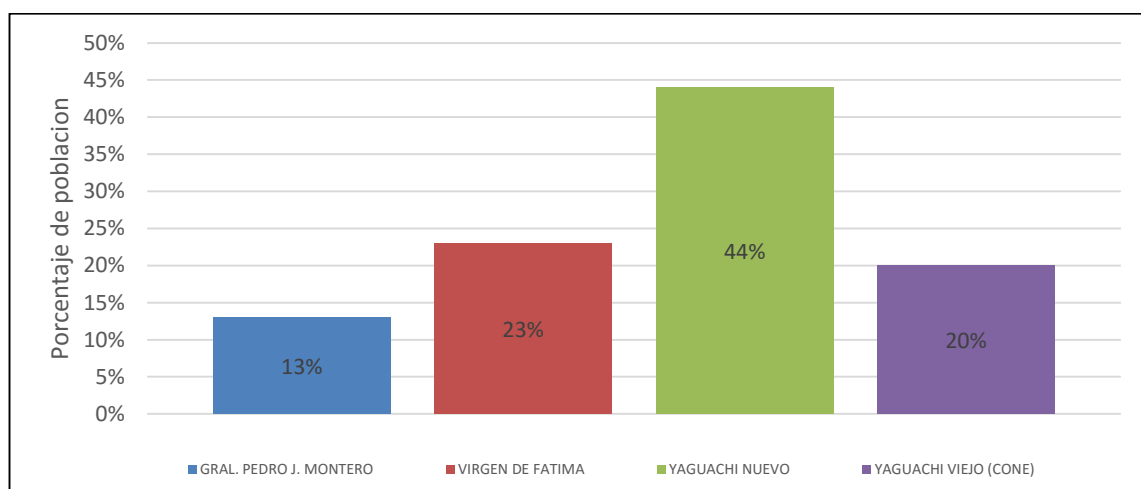


Figura 1.1 Distribución de la población por parroquia.
Fuente: INEC, 2010.

Se conoce también que los desechos sólidos generados por los habitantes del cantón se disponen en un botadero a cielo abierto ubicado a 8km de la ciudad y que se encuentra aproximadamente en la cota 5 m.s.n.m. en una zona de alto riesgo de inundación, en un terreno de aproximadamente de 1 ha de superficie. Por lo que se requiere de una solución técnica para poner un fin definitivo a esta problemática que pone en riesgo la salud de los habitantes, crea disconformidad y amenaza el ecosistema de la zona por su potencial efecto contaminante.



Figura 1.2 Botadero de basura actual
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

1.4. Justificación

Debido a que actualmente en el botadero del cantón Yaguachi, no se está implementando ninguna medida técnica de saneamiento ambiental contempladas en la Ley Ambiental vigente, y en conocimiento de los riesgos a la salud de los habitantes y del ecosistema que representa un botadero a cielo abierto.

Además, de conformidad con lo indicado en los objetivos 3 (Mejorar la calidad de vida de la población) y 7 (Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad) del Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 y lo estipulado en el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS).

Se considera esencial el desarrollo del proyecto del diseño del nuevo relleno sanitario; en zona inundable, del cantón San Jacinto de Yaguachi, de manera que se implementen las medidas técnicas ambientales requeridas por la ley vigente en el Ecuador, para dar una solución definitiva a la problemática del manejo y disposición final de los desechos sólidos generados por la población rural y urbana del cantón.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar un relleno sanitario; en una zona inundable en la cota 5 m.s.n.m., para el adecuado manejo y disposición final de los desechos sólidos generados en el cantón San Jacinto de Yaguachi.

1.5.2. Objetivos Específicos

Seleccionar la alternativa óptima para el relleno sanitario.

Diseñar la colina artificial de desechos sólidos del relleno sanitario.

Dimensionar el sistema de drenaje de lixiviados y las lagunas de lixiviados.

Seleccionar el método de eliminación de gases producidos por la descomposición de los desechos sólidos.

Realizar el diseño de los componentes secundarios; cerramiento, edificio administrativo y estación de pesaje, del relleno sanitario, necesarios para su operación.

Elaborar un presupuesto referencial del proyecto.

Realizar el estudio de impacto ambiental.

Elaborar el manual de operación y mantenimiento.

1.6. Metodología

Para la realización del presente proyecto se requirió la planificación de varias actividades de campo, laboratorio y oficina para obtener el resultado final deseado.

Las actividades consistieron en identificar junto con personal del municipio la problemática más inmediata. Una vez que se identificó el problema del manejo de los desechos sólidos, se procedió a recabar toda la información base disponible de fuentes directas tal como el GAD Municipal de Yaguachi y de fuentes indirectas tales como el INEC, MAE, literatura, guías de diseño, revistas científicas, legislación, etc., que permitieron elaborar la línea base y la descripción del sitio del proyecto.

Luego de recopilar y analizar toda la información necesaria, se realizó la planificación de las actividades de campo con la guía de profesionales y

docentes, según los requerimientos del proyecto en cuestión. Por lo que se planificaron visitas de campo para el reconocimiento del sitio del proyecto, los trabajos de topografía y estudios de suelos con ensayos in situ y recuperaciones de muestras.

Habiendo realizado todas las actividades de campo pertinentes se dio paso al trabajo de laboratorio en el que se realizaron los ensayos necesarios para la caracterización del suelo y el planteamiento de soluciones.

Cuando se obtuvieron los resultados de los ensayos y la topografía procesada, se analizó las posibles soluciones planteándose 3 alternativas que fueron calificadas bajo los criterios de evaluación indicados en las guías de diseño, para determinar la alternativa óptima.

A partir de la selección de la alternativa óptima se emprendió el diseño definitivo de los componentes del complejo del relleno sanitario y sus obras auxiliares, las cuales fueron diseñadas para un periodo de vida útil de 40 años con la posibilidad de incrementar este periodo siempre que se implementen metodologías de operación más estrictas que optimicen los trabajos.

Se elaboró el manual de operación para que sirva como una guía para el desarrollo de las actividades al interior del complejo del relleno sanitario cuando inicie su funcionamiento. También se evaluó el impacto ambiental de las actividades que se requieren para la construcción, operación y cierre de un relleno sanitario ya que se trata de una obra de saneamiento ambiental. Por lo tanto, incorpora actividades que deben ser estudiadas por su elevado riesgo de contaminación.

Finalmente, se definió un presupuesto referencial para el manejo económico del proyecto basado en la estimación de cantidades de obra y los trabajos de operación del relleno sanitario.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los desechos son todo aquello que, desde el punto de vista de quien lo uso o consumió ya no tiene valor ni función alguna, puesto que considera que ya ha cumplido su vida útil y por lo tanto lo desecha depositándolo en lugares destinados para la acumulación de estos desperdicios. En ciertos casos los lugares elegidos para la colocación de los desperdicios no son los más adecuados.

A lo largo de la historia de la humanidad la producción de desechos sólidos ha sido una consecuencia inevitable, producto del desarrollo de las actividades cotidianas del ser humano. Debido a que la población a través del tiempo ha aumentado, evidentemente la producción de los desechos y su impacto en el ecosistema también, resultado de esto se fueron desarrollando distintos métodos de disposición final para los desechos sólidos.

2.2. Desechos sólidos urbanos

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en ingles), se denominan desechos sólidos urbanos o municipales a los desechos provenientes de fuentes residenciales, comerciales, institucionales y ciertos tipos de desechos industriales.

2.2.1. Tipos de desechos sólidos

Ya que los desechos sólidos urbanos provienen de distintas fuentes, poseen una composición variada por lo que es necesario definir los tipos de desperdicios que se pueden encontrar.

Desechos de alimentos: Los desechos de alimentos se componen de los residuos de frutas, vegetales y animales, que se generan luego del procesamiento, preparación y consumo de estos productos. El factor de mayor importancia que concierne a este tipo de desechos sólidos es su característica putrescible y la capacidad de descomponerse rápidamente; sobre todo en condiciones climáticas que favorecen este proceso.

Usualmente la presencia de este tipo de desechos en la composición en general de los residuos que se espera colocar en un relleno sanitario, condiciona el diseño y los procedimientos durante la etapa de operación del relleno sanitario. Por lo que previo al diseño de un relleno sanitario se realiza un estudio de la composición de los desechos para determinar un aproximado de la cantidad que se espera colocar en el relleno sanitario.

Escombros: Se componen principalmente de materiales o productos procesados considerados como combustibles como cartón, muebles, madera, papel, plásticos, textiles, etc., también se consideran dentro de esta clasificación los desechos de jardinería.

De igual manera entran en esta categoría los desperdicios no combustibles como vidrio, envases de aluminio, materiales ferrosos y no ferrosos, cerámica, etc.

Cenizas: Son los residuos obtenidos luego de la incineración de materiales combustibles.

Desechos de demolición y construcción: Proviene del derrocamiento de edificaciones y cualquier otra estructura que haya sido demolida. También se consideran en esta clasificación todos los materiales restantes o desperdicios generados en la construcción, remodelación o mantenimiento de estructuras.

Por lo general incluyen concreto, tuberías, cables, tejas, madera, cerámica, mortero, hormigón, varillas de acero, etc., que también se podrían considerar como escombros.

2.2.2. Composición de los desechos sólidos

El análisis de la composición de los desechos sólidos es un aspecto importante en la selección de alternativas, para establecer el procedimiento a seguir en el manejo y disposición final de los desechos sólidos.

Dependiendo de la fuente de donde se generan los desechos ya sean residencias, locales comerciales, industrias, restaurantes, construcciones, etc., los residuos generados podrán clasificarse según las categorías indicadas en la sección anterior. Dependiendo de su clasificación, los desechos estarán compuestos en su mayoría por residuos de los productos más usados en la fuente es así como, por ejemplo, los desechos originados en restaurantes se podrán clasificar como desechos de alimentos y estarán compuestos principalmente de material orgánico putrescible producto de la preparación de alimentos.

La composición física de los desechos proporciona información relevante para discernir sobre el equipo a usar para el manejo en las instalaciones destinadas a la recepción, manejo y disposición final de los residuos. Determinar los componentes individuales y su cantidad se podría considerar como la tarea más compleja al

momento de analizar la composición física de los desechos sólidos, se pueden identificar cientos de componentes, pero por lo general se busca enlistar los componentes que sean más fácil y rápido de identificar.

En la literatura de Tchobanoglous se reporta una lista de materiales que típicamente componen los desechos sólidos y se ha encontrado que es útil y eficiente identificarlos de esa manera.

A continuación, se enlistan los componentes típicos:

- Desechos de alimentos
- Papel
- Cartón
- Plásticos
- Textiles
- Caucho
- Cuero
- Residuos de jardín
- Madera
- Vidrio
- Envases de hojalata
- Metales no ferrosos
- Tierra, ceniza, ladrillo, etc.

Por otro lado, también es importante considerar en el análisis la composición química de los desechos sólidos con los que se va a trabajar, esto ayuda a determinar si se requiere de algún tratamiento o procedimiento especial previo a la disposición final de los desechos sólidos. Conocer la composición química permite también estimar las cantidades de producción de lixiviados, gases producidos y el agua consumida en las reacciones de descomposición de los desechos.

2.2.3. Tasa de producción de los desechos sólidos

Existen distintas medidas para definir la tasa de producción de desechos sólidos, la medida más usada es el peso en toneladas por ser fácil de determinar.

Estimar las tasas de producción es un parámetro esencial en el análisis de los procesos de manejo de residuos para determinar la cantidad de desechos producidos y definir procesos capaces de abarcar tales cantidades de desechos.

Así como la composición física se ve afectada por la procedencia del desecho, la tasa de producción de los desechos también de manera que se puedan determinar diferentes tasas de producción

según la fuente en la que se originaron, estrato social, geografía, estación del año, leyes, ordenanzas. Esto es útil principalmente cuando en un análisis de composición previo se han determinado diferencias muy evidentes que ameriten procesos particulares para los desechos.

De igual manera cuando se requiera, se pueden determinar tasas de producción según los componentes individuales de los residuos, para cuantificar los materiales con el fin de definir procesos de recuperación de ciertos materiales de tal manera que se puedan reducir los desechos que se vayan a disponer de manera final.

Cabe recalcar que el nivel de detalle con el que se proceda en la estimación de las tasas de producción dependerá del criterio de la persona, disponibilidad financiera para desarrollar métodos o tecnologías innovadoras en el procesamiento de los desechos y requerimientos especiales para la recuperación de materiales. Para los distintos niveles de detalle existen diferentes procedimientos para la estimación de las tasas de producción.

El primer procedimiento se enfoca en registros de pesaje de los camiones, volquetas o cualquier medio de transporte y carga, obtenidos en las instalaciones del sitio mediante una estación de pesaje.

Este registro permite cuantificar la cantidad de desechos depositados según la procedencia; que se conoce previamente según el recorrido de los camiones, entonces teniendo la cantidad de desechos al día y el número de viviendas de donde se recolectó esa cantidad, se puede obtener una tasa de producción de cantidad de desechos por vivienda, y si se conoce el número de habitantes por vivienda o se emplea una aproximación de este dato, se podrá obtener de manera aproximada una tasa de producción de cantidad de desechos producidos en un día por habitante.

Otro procedimiento aproximado es el estudio del peso y volumen de los desechos sólidos recolectados, que, si bien podrá aportar información relevante en cuanto a la densidad de los desechos según su procedencia, no es una unidad de medida que facilite la estimación de la producción de los desechos sólidos.

El procedimiento de análisis más aproximado y confiable es el que consiste en el estudio integral de los componentes individuales de los desechos producidos en cada fuente en un periodo de tiempo determinado para obtener un registro porcentual de los materiales desechados según se encuentren.

Este procedimiento parte de la caracterización en base a los componentes típicos y de la cuantificación de los desechos, de donde se obtiene información detallada que permite evaluar de mejor manera los diferentes procesos de manejo y tecnologías a aplicar para la disposición de los desechos, así como los productos que se obtienen de las reacciones de descomposición.

2.3. Botadero a cielo abierto

Los botaderos a cielo abierto constituyen la práctica de disposición final de desechos sólidos que más se remonta a épocas pasadas, por ser el método más sencillo de aplicar.

Disponer los desechos sólidos a cielo abierto consiste en la selección de una extensión de terreno sin ningún criterio técnico, ambiental y/o social.

Durante la operación de estos botaderos, es común también que no se aplique ninguna medida de saneamiento ambiental, lo que deriva consecuentemente en la contaminación del suelo, aire y cuerpos de agua superficiales o fuentes subterráneas en el caso de estar presentes en la zona del botadero.

Este método de disposición final da lugar a la propagación de enfermedades, debido a la falta de control de ingreso de animales e insectos al basurero, los cuales se transforman en vectores nocivos para la salud de los pobladores que habitan en los alrededores de estos botaderos y de las mismas personas que, en condiciones de extrema necesidad desarrollan sus actividades cotidianas en estos lugares para lograr un ingreso económico que les permita subsistir.

Actualmente, los basureros o botaderos a cielo abierto están prohibidos en la legislación ambiental del Ecuador, ya que representan un peligro para la salud de la población y es una práctica que no considera medidas de mitigación ambiental alguna.

2.4. Disposición de desechos sólidos en cuerpos de agua superficiales

La disposición de desechos sólidos en cuerpos de agua superficiales consiste en la colocación de los residuos en ríos, esteros, pantanos,

océanos, lagos o lagunas. En el pasado era común que ciudades costeras se valieran de este método de disposición de los desechos para eliminar los residuos generados por la población. Lo que generó que se contaminaran las líneas costeras.

En el Ecuador, en ley de gestión ambiental vigente se prohíbe la disposición de los desechos sólidos en los cuerpos de agua superficiales.

2.5. Quema de desechos sólidos a campo abierto

Este método de eliminación de los desechos sólidos difiere de la incineración, ya que la quema a campo abierto es un método descontrolado en el que no se supervisa la generación de gases producidos en la combustión de los desechos, y los desechos permanecen en el mismo lugar sin ningún tratamiento o disposición final posterior.

La quema de los desechos sólidos generados constituye una de las prácticas más contaminantes en cuanto a la generación de gases de efecto invernadero debido a la quema de materiales derivados de hidrocarburos presentes en los desechos sólidos.

2.6. Entierro de los desechos solidos

Este método consiste en la disposición de los desechos sólidos en zanjas realizadas sin ningún criterio técnico, en las que los desechos se depositan directamente en contacto con el suelo.

Enterrar los desechos sólidos de esta manera también se encuentra prohibido en la legislación debido al riesgo elevado de contaminar los cuerpos de agua subterráneos.

2.7. Relleno sanitario

El relleno sanitario representa la opción más viable en materia económica y operativa en el manejo y colocación final de desechos sólidos. Este método consiste en la disposición de los desechos sólidos compactados y cubiertos con una capa de suelo que aisle los desechos sólidos de agentes atmosféricos y a su vez contenga los gases producidos para que se puedan extraer de manera controlada.

Los desechos sólidos en un relleno sanitario se compactan sobre una extensión de terreno previamente preparada e impermeabilizada. Los desechos se compactan en capas sucesivas formando celdas conformadas a partir de los desechos depositados en un día, y al final de cada día se confinan y aíslan del exterior mediante una capa de material

de cobertura que evita la salida de gases y malos olores hacia el ambiente, también evita el contacto con animales. De igual manera la capa de cobertura tiene por función reducir la cantidad de agua que ingresa a los desechos sólidos que han sido compactados en el área del relleno sanitario.

El método de relleno sanitario presenta ciertas características que lo aventajan frente a los otros métodos de disposición de desechos sólidos.

- Eliminación controlada de los lixiviados y gases producidos en la descomposición de los residuos.
- Criterios y medidas de operación que favorecen la protección del medio ambiente y la seguridad laboral del personal del relleno sanitario.
- Se implementan prácticas de saneamiento ambiental que mejora la calidad de vida de los habitantes y previene la proliferación de vectores transmisores de enfermedades.
- Posee la capacidad de almacenar cualquier tipo de desecho sólido, en el caso que no se haya considerado la separación y recuperación previa de materiales.
- Luego de la clausura o cierre de un relleno sanitario se puede emplear la extensión de terreno para otros fines, dependiendo de

su extensión se pueden destinar áreas de esparcimiento, lotes de parqueo si en un futuro el área cercana se vuelve comercial, etc.

Pero este método también presenta ciertas desventajas tales como:

- Por lo general la demanda de terreno para un relleno sanitario es elevada, por lo que es recomendable que el sitio ya pertenezca a la entidad pública, caso contrario el costo de expropiación podría elevar el costo del proyecto y generar problemas políticos-administrativos.
- Comúnmente los rellenos sanitarios tienden a convertirse en botaderos descontrolados de desechos por la falta de supervisión y aplicación de las normas.
- La implementación de rellenos sanitarios en zonas urbanas genera malestar en la población.
- La estructura del cuerpo de desechos sólidos debido a la descomposición de los residuos puede presentar asentamientos que requieran de mantenimiento periódico para evitar el colapso de los taludes.

Para el diseño de un relleno sanitario deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Equipo adecuado según el tipo de relleno sanitario.
- Disponibilidad de área para depositar los desechos sólidos.
- Características satisfactorias del sitio elegido.
- Eficiencia en la impermeabilización del suelo y de la colina de desechos.
- Tipo de desechos que se colocarán.
- Sistemas de evacuación de lixiviados y gases.

2.7.1. Tipos de relleno sanitario

Los tipos de relleno sanitario se clasifican según el tipo de equipo utilizado para su operación, en base a esto la Guía de diseño de rellenos sanitarios planteada a partir del caso del relleno sanitario de Loja, menciona dos tipos de rellenos, rellenos manuales y rellenos mecanizados. La Guía de diseño de rellenos sanitarios de Jorge Jaramillo plantea una clasificación adicional, rellenos semimecanizados.

Relleno sanitario manual: Esta metodología para la operación de rellenos sanitarios se aplica comúnmente cuando el equipo o maquinaria enfrenta graves dificultades para acceder al sitio de trabajo, por lo que se emplea mano de obra y el uso de herramientas menores para realizar las mismas actividades. En

este tipo de relleno los trabajos de descarga, apilamiento, compactación, aplicación de material de cobertura, construcción de drenes de lixiviados y gases, y mantenimiento de obras secundarias, se realizan sin el apoyo de equipos mecánicos.

Claramente esta metodología de operación presenta limitaciones técnicas que deben ser evaluadas en el diseño de un relleno sanitario, ya que en un relleno sanitario manual se alcanza menores densidades de compactación, que se traduce en la reducción de la altura del cuerpo de desechos para evitar problemas de estabilidad. Al disminuir la altura del relleno sanitario se requiere mayor extensión de terreno para la disposición de desechos, que como se ha indicado anteriormente podría ocasionar problemas de carácter político-administrativo para la obtención de una porción adicional de terreno.

A pesar de las dificultades que puede presentar este tipo de relleno sanitario, la metodología ofrece una solución viable para la construcción de rellenos sanitarios en poblados pequeños en los cuales, la tasa de producción de desechos sólidos no amerita el desarrollo de un proyecto de manejo y disposición de residuos de mayores características y la entidad municipal, parroquial o

comunitaria encargada, no posee el poder adquisitivo para la obtención de equipos que desarrollen los trabajos en las instalaciones del relleno sanitario.

Relleno sanitario mecanizado: El desarrollo de rellenos sanitarios mediante el uso de maquinaria pesada, es el método más viable desde el punto de vista operativo, técnico y económico, para municipalidades medianas y grandes en las que la tasa de producción de desechos sólidos vuelve imposible que el manejo de los desechos sólidos se realice manualmente. Además, el poder adquisitivo de estas municipalidades les permite contar con el equipo adecuado para realizar los trabajos.

La operación de este tipo de rellenos sanitarios presenta ciertas exigencias frente al relleno sanitario manual, ya que constituye un proyecto ingenieril de mayor magnitud en el que se deben tener en cuenta la tasa de producción de desechos, la composición, selección del sitio en base a criterios técnicos, metodología de operación, organización administrativa e infraestructura complementaria.

Generalmente en un relleno sanitario mecanizado se requieren uno o dos tractores que cumplan ciertas especificaciones técnicas para asegurar su buen desempeño y que sean capaces de realizar los trabajos de movimiento y colocación de residuos y material de cobertura, y de igual manera que realicen los trabajos de explotación de material de cobertura que se requiera para las demás celdas, también se requiere de un rodillo para la compactación de residuos.

Adicionalmente para trabajos de mantenimiento pueden requerirse temporalmente retroexcavadora, volquetas, y demás equipos que se consideren necesarios.

Relleno sanitario semimecanizado: Este tipo de rellenos sanitarios considera el uso de maquinaria pesada como complemento para el trabajo manual, para evitar los problemas de inestabilidad e incrementar la vida útil del relleno.

2.7.2. Métodos de construcción de rellenos sanitarios

Es indispensable determinar una estrategia de construcción, para aprovechar al máximo el terreno disponible. La estrategia que se defina para la construcción del relleno sanitario está íntimamente

ligada a varios aspectos externos como la topografía del terreno, las características del suelo y la ubicación de la napa freática.

Tabla II. Recomendaciones para la selección del tipo de relleno sanitario

Situación	Relleno manual	Relleno con compactación mecanizada
Municipalidad o comunidad muy pequeña (<5.000 habitantes)	Siempre se recomienda	NO
Municipalidad pequeña (<50.000 habitantes)	Se recomienda generalmente	Se recomienda si se puede compartir con otros municipios cercanos
Municipalidad mediana (50.000 - 200.000 habitantes)	Solamente en circunstancias especiales (existe terreno vasto, no hay mano de obra especializada, mano de obra barata, no se dispone de maquinaria)	Se recomienda generalmente
Municipalidad grande (>200.000 habitantes)	NO	Siempre se recomienda
Municipalidad muy aislada	Favorable para la implementación del relleno manual	Solamente se recomienda para municipios medianos y grandes
Terreno es muy caro o limitado	Solamente para municipios muy pequeños	Se prefiere también para municipios pequeños - medianos (el tractor se puede utilizar a medio tiempo, si es posible)
Sitio muy lluvioso	Se recomienda para municipios pequeños y muy pequeños, tomando precauciones especiales (drenajes, cubierta)	Se prefiere generalmente
Se entierran también desechos peligrosos	Se pueden implementar las dos alternativas, tomando precauciones especiales (establecimiento de una celda separada de seguridad)	
No se dispone de mano de calificada	Se prefiere para municipios pequeños - medianos	Solamente se recomienda para municipios medianos y grandes
El relleno sanitario se encuentra en un sitio bajo protección (parque nacional, bosque protegido, etc.)	Se pueden implementar las dos alternativas con cuidado especial para disminuir las emisiones (capa impermeable de fondo, laguna suficiente, recuperación de los desechos valorables, etc.)	
Mano de obra muy barata	Se prefiere generalmente	Se recomienda para municipios medianos - grandes

Fuente: Tchobanoglous, 1982.

Se han reportado en el texto de Tchobanoglous, en la guía de diseño del relleno sanitario de la ciudad de Loja y en la guía de diseño de Jorge Jaramillo varios métodos de construcción en los que se pueden identificar ciertas semejanzas entre los autores y otros métodos en los que difieren, como se indica a continuación.

Método de trinchera o zanja: El método de trinchera se emplea frecuentemente en áreas donde el material de cobertura se encuentra disponible en el sitio en cantidades suficientes y la napa freática no está próxima a la superficie del terreno. Los terrenos con nivel freático próximo a la superficie corren el riesgo de contaminación por la mezcla del agua subterránea con los lixiviados.

Debe prestarse especial atención a los rellenos sanitarios que se construyan según esta metodología y que se vean afectados por periodos prolongados de lluvia ya que las zanjas pueden inundarse. Por lo que será necesario considerar obras auxiliares de drenaje para evacuar las aguas de escorrentía y evitar que se introduzcan en las zanjas.

La planificación o metodología de la construcción del relleno sanitario bajo este método puede variar de un proyecto a otro, pero Tchobanoglous indica que generalmente los residuos se disponen al interior de zanjas excavadas de entre 30 a 120 metros de largo, 0.90 a 1.80 metros de profundidad y 4.60 a 7.60 de ancho.

Este método consiste en excavar las zanjas y apilar el material excavado que va a ser empleado como material de cobertura cuando se requiera hacer el cierre, al final de la jornada de trabajo. Los residuos se vierten en la zanja en capas sucesivas de 0.60 m para luego ser compactadas. El procedimiento continúa hasta que se haya alcanzado la altura determinada en el proyecto.

Las proyecciones de excavaciones de zanja se realizan de acuerdo con la cantidad de desechos que se reciben diariamente en las instalaciones del relleno sanitario, de tal manera que al final del día se ocupe toda la longitud de zanja excavada y se alcance la altura final proyectada del relleno sanitario.

Las proyecciones de excavación de zanjas también deben realizar previendo la descarga simultanea de camiones recolectores para evitar retrasos innecesarios en la operación del relleno sanitario.

Método de área: Este método es una solución eficaz cuando el sitio no es adecuado para realizar la excavación de zanjas, ya sea por la presencia de nivel freático muy cerca de la superficie o

la topografía del terreno no es apta para estos trabajos. Por lo que se opta por la colocación de los residuos sobre un terraplén que sirve de cimentación para el relleno sanitario, este terraplén se construye con el objetivo de elevar unos metros el nivel de la base del relleno con respecto al nivel del terreno natural.

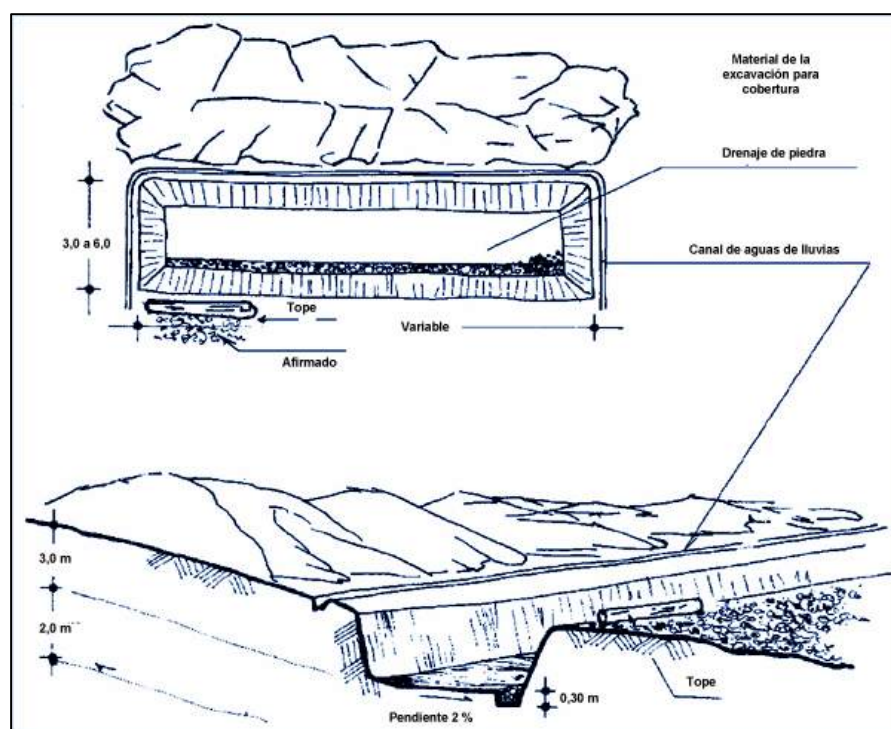


Figura 2.1. Método de zanja
Fuente: Jaramillo, J., 2002.

La superficie de terreno debe impermeabilizarse previo a la colocación de los desechos sólidos, para evitar la contaminación de las fuentes de agua subterráneas. En este método de construcción se requiere que el material de cobertura sea

acarreado desde sitios de préstamo definidos en la etapa de diseño del relleno sanitario.

El método de construcción de área puede emplearse en zonas planas, rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas. En el caso de depresiones naturales o canteras abandonadas, el material para cubrir los residuos se obtiene de los taludes que rodean el sitio, se debe procurar disminuir al mínimo la distancia de acarreo para mantener bajos los costos de la importación del material de cobertura.

La metodología de operación consiste en colocar los residuos y esparcirlos en franjas largas y de ancho reducido, y superponer estas franjas formando capas de 40 a 76cm de espesor. Cada capa se compacta antes de superponer otra capa de residuos, y se continua con el proceso sucesivo hasta alcanzar la altura proyectada para el final del día la cual típicamente se encuentra entre 1.80 a 3.30m. El material de cobertura debe proveerse en espesores de 15 a 30cm; una vez que se haya alcanzado la altura requerida, para dar el cierre definitivo al frente de trabajo y poder iniciar un nuevo frente al siguiente día.

Las dimensiones de largo y ancho de cada franja dependen del terreno y la cantidad de residuos que se reciben diariamente, las aproximaciones realizadas en la etapa de diseño permitirán determinar con cierto grado de confianza la longitud de la franja conociendo la altura deseada al final del día y que el ancho de franja típicamente oscila entre 2.40 a 6.10m dependiendo del tipo de maquinaria usada, esto con el objetivo de facilitar las maniobras de la maquinaria.

Las franjas de largo, ancho y altura definida por el proyectista, que se clausuran diariamente se denominan celdas. Un relleno sanitario se conforma por varias sucesiones de celdas superpuestas hasta alcanzar la capacidad del relleno sanitario. Los taludes de estas celdas deben conservar pendientes de 1:3 o 1:2 para garantizar la estabilidad y la pendiente transversal de la superficie debe ser de 2 a 3.5% para generar escorrentía de las aguas lluvias y evitar que el agua ingrese al cuerpo de basura, con esto se evita el incremento de lixiviados.

Método combinado: Esta metodología combina la operación de rellenos con el método de áreas y trincheras. El método combinado se emplea cuando se pueden realizar las

excavaciones de zanjas en las que se colocarán los residuos y una vez que se haya alcanzado su capacidad, se procede a disponer los residuos sobre las zanjas cerradas siguiendo la metodología del método de áreas indicado anteriormente en esta sección.

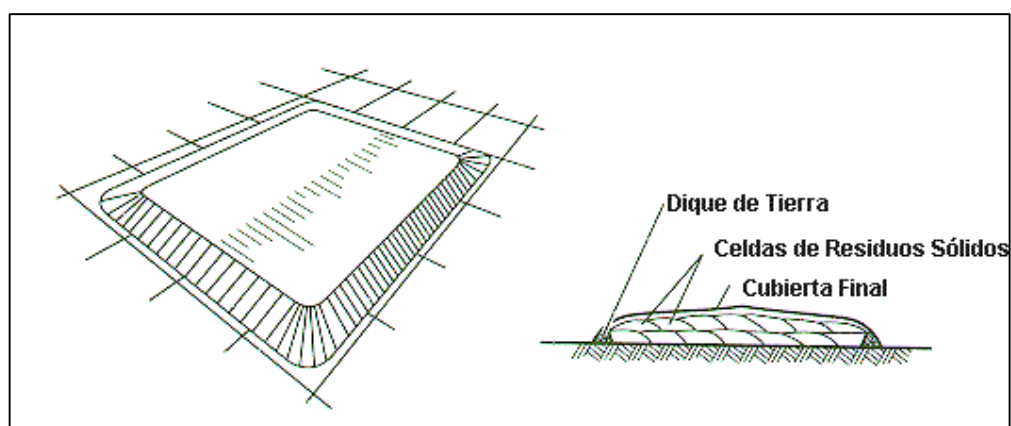


Figura 2.2 Método de área

Fuente: Jaramillo, J., 2002.

Caso especial: Las metodologías descritas en esta sección se refieren a los métodos de trabajo y operación de rellenos en zonas secas en las que no se tiene cuerpos de agua superficiales en las proximidades.

Puede darse el caso en que no haya otro sitio disponible para desarrollar un proyecto de relleno sanitario y el único sitio disponible sea una zona pantanosa, humedales, ciénagas, etc., en fin, zonas con presencia de agua superficial.

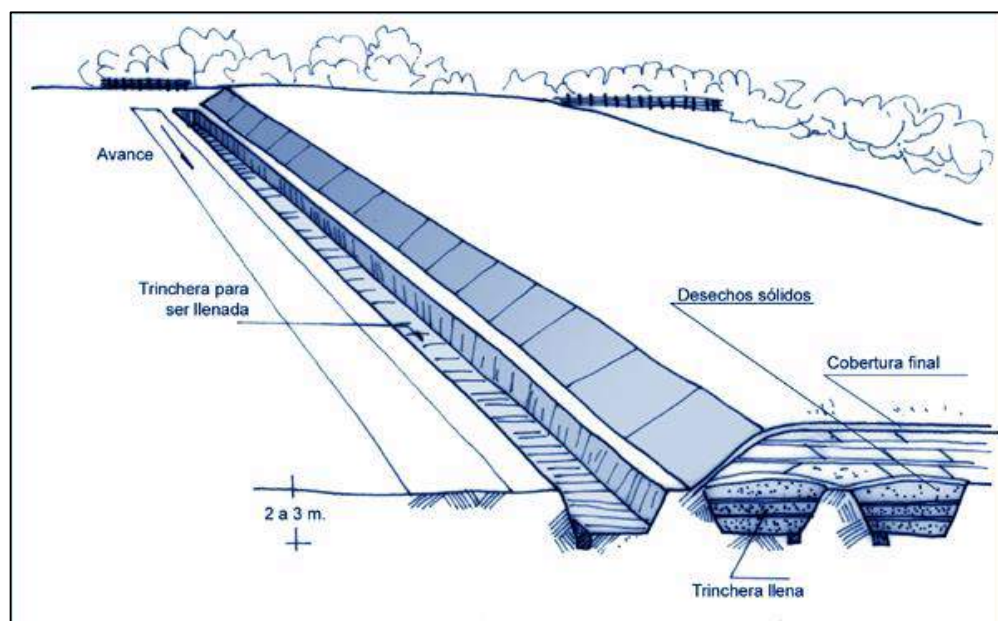


Figura 2.3. Método combinado
Fuente: Jaramillo, J., 2002.

Históricamente se había permitido el desarrollo de este tipo de proyectos en zonas con presencia de agua superficial, siempre y cuando se hubieren tomado en cuenta todas las prevenciones pertinentes para evitar la contaminación por parte del lixiviado producido.

Entre las alternativas consideradas para evitar la contaminación, se tiene la construcción de terraplenes hasta alcanzar un nivel seguro en el que no se tenga influencia del agua superficial.

Otra alternativa consiste en drenar el sitio y colocar material impermeable para proveer un sello adecuado que impida el paso de los lixiviados. Usualmente cuando se aplica esta alternativa es recomendable continuar el drenado hasta alcanzar la capacidad del relleno, con el objetivo de salvaguardar la integridad de la capa de sellado.

2.7.3. Uso potencial del relleno sanitario luego del cierre

El uso final que se le pueda dar al relleno sanitario luego del cierre varía según la ubicación, las condiciones climáticas, metodología de construcción, y estrato socioeconómico de la población más próxima al área del proyecto.

Los rellenos sanitarios que han alcanzado su vida útil usualmente se emplean para la recuperación paisajística, establecimiento de áreas de recreación o zonas verdes. Las consideraciones mencionadas previamente, permitirán evaluar la alternativa más adecuada para la vida post-clausura de un relleno sanitario.

En la Figura 2.4 se puede observar el parque recreativo André Jarlan en la ciudad de Santiago de Chile en lo que fue el relleno sanitario La Feria.



Figura 2.4 Parque recreativo André Jarlan
Fuente: GRS SZANTO, 2017.

2.8. Reacciones que ocurren en un relleno sanitario

2.8.1. Cambios físicos, químicos y biológicos

El diseño de rellenos sanitarios amerita el análisis del comportamiento de los desechos luego del cierre diario y definitivo de los frentes de trabajo. Los residuos que se encuentran al interior de un relleno sanitario van a presentar varios cambios a lo largo del tiempo, de carácter físicos, químicos y biológicos.

Dado que en un relleno sanitario se desarrollan diferentes reacciones es complicado establecer relaciones definidas que describan con claridad el proceso de estas reacciones. De manera general Tchobanoglous indica que la velocidad a la que

se desarrollan las reacciones químicas y biológicas en un relleno sanitario aumenta con la temperatura y la cantidad de humedad.

Estos cambios se ven afectados por factores externos tales como: la densidad alcanzada en la compactación de los desechos, humedad disponible al interior del cuerpo de desechos, tasa de migración del agua a través de los desechos, temperatura y tasa de descomposición de los residuos.

Cambios físicos: Entre los cambios físicos de mayor importancia al interior del relleno sanitario se tienen:

- Compactación de los residuos sólidos.
- Producción y emanación de gases debido a la descomposición aerobia o anaerobia del material orgánico putrescible.
- Asentamiento diferencial del cuerpo de residuos debido a la descomposición de los desechos.
- Desplazamiento de lixiviados a través de los desechos sólidos.

La producción de gases requiere especial atención durante la operación del relleno sanitario ya que se debe supervisar el

sistema diseñado para el control de estos gases, de presentarse el caso de que los gases permanezcan contenidos al interior del cuerpo de residuos sólidos, se pueden crear presiones en el interior que generan fisuras en la cobertura de la superficie dando paso libre al agua en forma de lluvia a través de estas grietas hacia los desechos sólidos.

El paso libre del agua lluvia al interior del relleno sanitario es un factor que estimula la producción de lixiviados y gases poniendo en riesgo la seguridad de los sistemas de control de estos productos, y además generando inconvenientes con respecto a la estabilidad del cuerpo de desechos.

Reacciones químicas: La descomposición del material orgánico putrescible al interior del relleno sanitario, implica el desarrollo de reacciones químicas en las que los productos de conversión biológica se diluyen y se encuentran en suspensión en los líquidos infiltrados a través de los residuos sólidos. También se dan reacciones de oxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas.

Durante las reacciones químicas los residuos sólidos adsorben compuestos orgánicos volátiles. También sucede que en el vapor de agua generado se encuentran presentes compuestos químicos y también se tiene la deshalogenación y reducción de los componentes orgánicos o putrescibles.

Reacciones biológicas: Las reacciones o cambios biológicos se deben a la presencia de microorganismos en los residuos sólidos asociados a los componentes orgánicos y que son quienes permiten que ocurran los procesos de descomposición.

Los procesos de descomposición a cargo de estos microorganismos inician con la descomposición de la materia orgánica con la presencia de oxígeno, a este proceso se le denomina fase aerobia y la realizan microorganismos aerobios, el producto que predomina en esta fase es el bióxido de carbono.

Una vez que los microorganismos aerobios hayan consumido todo el oxígeno disponible, las reacciones de descomposición entran en la fase anaerobia en la que el oxígeno ya no se encuentra presente, y los compuestos orgánicos se degradan en bióxido de carbono, gas metano y ácido sulfhídrico en menores cantidades.

La velocidad con la que la materia orgánica presente en los residuos sólidos se degrada depende íntimamente de las características de los residuos orgánicos y el agua contenida o añadida a los residuos antes, durante y luego de su colocación en las celdas del relleno sanitario.

Los componentes de los residuos orgánicos típicamente se clasifican en los siguientes grupos de acuerdo con sus características:

- Presencia de celulosa en su estructura o derivados.
- Ausencia de celulosa o derivados.
- Plásticos, caucho y cuero.

2.8.2. Gases y lixiviados en un relleno sanitario

Los gases y líquidos lixiviados son subproductos de la descomposición de principalmente la materia orgánica presente en los desechos sólidos.

Gases: De acuerdo con lo reportado en la literatura por Tchobanoglous, este subproducto de la descomposición de los desechos orgánicos se compone por: aire, amoníaco, dióxido de

carbono, monóxido de carbono, hidrogeno, ácido sulfhídrico, metano, nitrógeno y oxígeno.

Los compuestos CH_4 y CO_2 son gases obtenidos de la descomposición en la fase anaerobia. En la tabla se muestran la densidad y peso molecular de los gases comúnmente encontrados en los rellenos sanitarios.

Los gases generados al interior de un relleno sanitario deben analizarse con el objetivo de determinar tasas de producción durante la operación y post operación del relleno sanitario, para evaluar los procesos de eliminación de estos gases que mejor se adapten a las condiciones del relleno sanitario.

Las tasas de producción se calculan con una formula general en la que se cuantifica los componentes orgánicos presentes en el relleno sanitario y se idealiza que se convertirán en su totalidad a CO_2 y CH_4 .

Tchobanoglous identifica al gas metano producido, como un gas que requiere de especial atención durante la operación de un relleno sanitario debido a su inflamabilidad y riesgo de explosión

cuando se encuentra en concentraciones de 5 a 15% en volumen en el aire, y como es inodoro e incoloro se vuelve difícil detectarlo.

Los gases acumulados en el interior de un relleno sanitario tienden a aflorar a través de fisuras en el suelo o la capa de cobertura. Por este motivo es que los sistemas de evacuación de los gases deben ser diseñados con especial atención para evitar riesgos de explosiones que afecten la seguridad y estabilidad del relleno sanitario.

Tchobanoglous indica que los valores que se calculen de tasas de producción variarán en cierto porcentaje con lo que realmente se extraiga de gases en el relleno sanitario. Usualmente la tasa de gas generado en un relleno sanitario de óptimas condiciones de operación genera entre 30 – 60% del valor calculado, en los dos primeros años de operación y se obtiene valores de 70% de gas generado hasta los primeros 5 años.

Lixiviados: Los lixiviados son los líquidos que se generan de la descomposición de la materia orgánica contenida en los residuos sólidos. Este líquido se evacúa por medio de sistemas de drenaje

colocados en la base del cuerpo de desechos sólidos de un relleno sanitario para captar toda la producción de estos líquidos luego que se haya transportado a través de los residuos.

Los lixiviados se componen principalmente del agua producida por la descomposición de los desechos, pero también pueden incluir fuentes externas como cursos de aguas superficiales, o subterráneas, escorrentía y precipitación.

En su paso a través de los desechos sólidos los lixiviados arrastran otros compuestos biológicos y químicos presentes en los residuos. La composición química de los lixiviados es un caso que amerita análisis profundos para determinar los rasgos contaminantes del lixiviado que se esté produciendo en un relleno sanitario y el método de eliminación necesario para disminuir el impacto en el entorno.

Es común estimar la producción de lixiviado en función de la cantidad de agua proveniente de fuentes externas que logran ingresar al cuerpo de desechos. Este enfoque permite elaborar estrategias de operación con el objetivo de facilitar el drenaje o

generar mayor escorrentía y reducir al mínimo la intrusión de agua al interior del relleno sanitario.

2.9. Características estructurales de los rellenos sanitarios

Los asentamientos en un relleno sanitario deben ser considerados con especial atención; cuando se desea determinar el uso posterior que va a recibir el relleno sanitario luego del cierre final, ya que dependen del grado de compactación de los desechos, la clasificación de los desechos colocados, método de relleno empleado y altura del cuerpo de desechos sólidos.

Los asentamientos pueden generar irregularidades en la superficie que faciliten el encharcamiento, o pueden originar grietas en la capa de cobertura que permita el paso de agua a través del cuerpo de basura, lo que incrementa la producción de lixiviados y gases.

El proceso de asentamiento es propio de la descomposición de los residuos colocados en el relleno sanitario y ningún relleno sanitario está exento de asentamientos. Pero los asentamientos no representan un problema mayor siempre que en la operación del relleno sanitario se haga correctamente, otorgando un grado de compactación adecuado.

2.10. Componentes principales de un relleno sanitario

Los rellenos sanitarios no solo se conforman por el cuerpo de desechos sólidos, existen instalaciones adicionales que deben construirse o implementarse para facilitar la operación de un relleno sanitario.

2.10.1. Acceso al relleno sanitario

Todo relleno sanitario debe contar con un punto de ingreso y salida al complejo de manera que se pueda llevar un control a los camiones y el personal que ingresa.

El acceso se conforma por la puerta de ingreso y salida, la caseta de control y la estación de pesaje. En este punto se procede a autorizar el paso de los camiones, registrar el ingreso de los camiones y la carga con la que ingresan al complejo, luego proceden a avanzar hacia el frente de trabajo donde depositan la carga transportada y procede a la estación de pesaje para registrar el peso vacío y determinar la cantidad de desechos depositados.

2.10.2. Red de vías de un relleno sanitario

Las vías al interior de un relleno sanitario se clasifican de acuerdo con el uso y la duración de la etapa de operación del relleno sanitario.

Red primaria: La red primaria se conforma por las vías que conectan el acceso al relleno sanitario con la red vial municipal. Deben permanecer operativas y en buen estado, durante todo el periodo de vida del proyecto y adicionalmente durante el uso posterior que se le dé al relleno sanitario.

La construcción de estas vías sigue los parámetros de diseño que se aplican a las vías municipales como:

- Pendiente longitudinal menor al 8%, máximo 10% en tramos inferiores a los 150m.
- Curvas horizontales de radio mayor a 50m, en topografía muy accidentada las radios pueden ser de hasta 30m.
- Ancho de calzada de 6 metros.

Red secundaria: Estas vías están conformadas por aquellas que permiten el desplazamiento a través de todo el complejo del relleno sanitario e incluso permiten el acceso a los diferentes niveles del cuerpo de desechos. Por lo que se construyen parcialmente sobre el terreno natural y las celdas clausuradas.

Estas vías deben construirse según los siguientes parámetros de diseño:

- Pendientes longitudinales menores al 6%.
- Sub-base granular de espesor 25cm, para prevenir la acumulación de material de cobertura y desechos sólidos en las ruedas de los equipos de transporte.
- Ancho de calzada de 10.50 metros.
- Diseño de curvas similar a las vías principales.

Red vial temporal: Estas vías se construyen temporalmente porque facilitan el acceso desde las vías secundarias hacia el frente de trabajo que se esté desarrollando.

Parámetros de diseño para las vías temporales:

- Pendientes longitudinales menores a 3%.
- Sub-base granular de espesor 25 centímetros.

- Ancho de calzada similar a las vías secundarias.

2.10.3. Frente de trabajo

El frente de trabajo se refiere al sitio de disposición de los desechos sólidos que se encuentre en operación. Los equipos de transporte de desechos se alinean en reversa para proceder al vertido de los residuos en el frente de trabajo.

Este espacio para la colocación de los desechos sólidos debe permitir la maniobra para varios camiones a la vez, de manera que no se produzcan retrasos indeseados en la operación del relleno sanitario.

Generalmente en el frente de trabajo se mantiene la pendiente en el 2% con la inclinación hacia afuera de los residuos, con el fin de reducir el encharcamiento en el cuerpo de desechos.

2.10.4. Preparación del terreno natural

Una vez que se ha elegido el sitio de acuerdo con los criterios de selección, se procede a la preparación del terreno natural que es una etapa crítica en la construcción del relleno sanitario, ya que en esta etapa se debe garantizar el aislamiento del terreno

natural con los desechos sólidos para evitar la contaminación del subsuelo.

Los métodos de impermeabilización empleados difieren de acuerdo con el entorno legislativo y geográfico del relleno sanitario. El objetivo principal es reducir al mínimo la posibilidad de percolación de lixiviados a las capas inferiores del terreno para evitar la contaminación de los cuerpos de agua de subterráneos. Comúnmente se emplean capas de arcillas con permeabilidades menores a 10^{-7} cm/s, geomembranas o incluso asfalto.

Para el diseño de la capa de drenaje de lixiviados se debe calcular el caudal de lixiviado que se va a generar debido a la descomposición de los residuos.

2.10.5. Celda diaria

La celda diaria es el cuerpo de desechos sólidos que se construye diariamente con los desechos receptados en el complejo. La geometría de la celda diaria depende del grado de compactación y la clasificación de los desechos sólidos colocados en el relleno sanitario.

Para los trabajos de compactación se debe emplear el equipo mecánico adecuado que realice la colocación de los desechos en capas de 25 centímetros de espesor sucesivas y apoyadas en celdas previamente construidas.

El proceso constructivo generalmente se realiza compactando los desechos en sentido de abajo hacia arriba de la cara del talud en el que se apoyan los residuos colocados, el operador debe realizar este proceso hasta que los desechos se hayan acomodado y compactado de manera que no se deformen con el paso de los equipos y cuando se haya alcanzado el grado de compactación de diseño.

Las dimensiones de las celdas diarias se determinan de acuerdo con lo siguiente:

- Cantidad de desechos receptados diariamente.
- Composición de los residuos sólidos receptados.
- Grado de compactación de diseño.
- Equipo mecánico empleado.
- Metodología de operación del relleno sanitario.
- Disponibilidad de material de cobertura.
- Sitio seleccionado para el relleno sanitario.

El ancho de la celda diaria constituye el ancho del frente de trabajo por lo que se define en función de la dimensión del equipo mecánico de acarreo y compactación, para facilitar los trabajos de construcción del relleno sanitario.

2.10.6. Material de cobertura

El material de cobertura requerido diariamente se coloca con el objetivo de aislar los desechos sólidos colocados de la intemperie y agentes atmosféricos como la lluvia, para evitar el incremento en la producción de los lixiviados, también se realiza para prevenir la desestabilización del cuerpo de basura.

La cobertura debe proveerse de manera que forme una pendiente uniforme suficiente para evacuar el agua proveniente de la lluvia sin arrastrar el material para evitar la exposición de los desechos sólidos.

La aplicación de material de cobertura presente varias ventajas:

- Controla la evacuación de gases y malos olores.
- Evita la erosión de la superficie debido a la acción del viento.

- Provee apoyo firme para la construcción de vías temporales.
- Previene la intrusión de animales vectores de enfermedades al interior del cuerpo de desechos.
- Protege los residuos sólidos colocados de incendios.
- Disminuye el impacto visual negativo en el paisaje.

Un relleno sanitario no puede llevarse a cabo sin la colocación de material de cobertura, por lo que en la etapa de diseño debe preverse las fuentes de extracción de este material. Pueden seguirse dos metodologías para la obtención del material de cobertura, puede obtenerse del terreno natural durante los trabajos de preparación del terreno, o importarse de fuentes externas cercanas al sitio del relleno.

2.10.7. Capa de drenaje

La capa de drenaje debe garantizar el transporte y manejo de los lixiviados a través del cuerpo de desechos sólidos hacia las instalaciones en las que se captará el lixiviado producido para su posterior tratamiento. El sistema de drenaje debe garantizar la evacuación del lixiviado generado, para evitar el incremento en la

presión de poros que pueda afectar la estabilidad del relleno sanitario.

La construcción de la capa de drenaje consiste en la colocación de una capa que contenga el material de desecho de ser arrastrado, y permite la percolación del lixiviado. Para esto la capa de drenaje se construye empleando tuberías perforadas; apoyadas sobre la capa impermeable, que captan y transportan el lixiviado hacia las instalaciones de procesamiento que se hayan definido.

La capa de drenaje debe actuar como lecho filtrante que permita el flujo de lixiviado y contenga los residuos sólidos. Por lo que generalmente, esta capa de drenaje se elabora a partir de material granular con coeficiente de permeabilidad K mayor a 10^{-1} cm/s. Para garantizar el buen desempeño del material granular usualmente se emplea material con partículas de tamaño de diámetro de 3 a 7 cm. La tubería de PVC que conduce el lixiviado se coloca en esta capa de drenaje.

Una recomendación que considerar es que cuando el cuerpo de desechos sólidos supera los 15 metros de altura, se requiere de

la colocación de tuberías de drenaje adicionales para abatir el incremento de la presión de poros. Otra solución es elaborar un modelo hidráulico en el que se tenga en consideración el desplazamiento de los lixiviados a través de los desechos en el relleno sanitario.

El diseño de la red de drenaje se realiza a partir del caudal de lixiviado estimado mediante el método de suizo.

2.10.8. Chimeneas de gases

A partir de las tuberías de transporte de lixiviados se prolongan verticalmente filtros conformados por material granular de iguales características a las de la capa de drenaje. Estos filtros verticales denominados chimeneas de gases, permiten también disminuir las presiones de poros causadas por los gases.

A través de estos filtros se evacuan los gases, pero existen restricciones para la evacuación de estos gases. Debido a su contaminación estos gases no pueden ser liberados descontroladamente a la atmósfera, un método de eliminación de gases consiste en la incineración de los gases por medio de mecheros y así se evita la liberación de gas metano al ambiente.

Cabe recalcar que los rellenos sanitarios producen gases durante toda su vida útil, por lo que estos mecheros deben permanecer encendidos durante todos los años para los que se haya proyectado el relleno sanitario.

Otra alternativa es el aprovechamiento de la característica combustible de los gases generados en un relleno sanitario para la transformación en energía.

La determinación del método de drenaje de los gases depende del presupuesto del proyecto, metodología de construcción, dimensiones del relleno sanitario, procedimientos de operación. De manera general se pueden determinar dos tipos de drenaje: drenaje pasivo y drenaje activo. El drenaje pasivo consiste en emplear drenes que faciliten la migración de los gases hacia el exterior por cuenta propia. El drenaje activo consiste en la instalación de equipos electromecánicos encargados de extraer los gases generados.

2.10.9. Cierre técnico

El cierre técnico consiste en la clausura del relleno sanitario una vez que haya cumplido con su periodo de vida útil. El cierre final

es un aspecto esencial en un relleno sanitario porque se encarga de proveer protección al cuerpo de desechos sólidos.

El cierre técnico se diseña de acuerdo con la metodología de operación del relleno sanitario y las condiciones climatológicas a las que está expuesto.

Para lo cual debe tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Proveer de una capa impermeable a la superficie del relleno sanitario.
- Sistema de drenaje de aguas lluvias.
- Colocación de una capa de tierra fértil mayor a 20cm de espesor para el crecimiento de vegetación.
- Drenes de lixiviados y gases correctamente instalados.

2.10.10. Infraestructura adicional

De acuerdo con la importancia y tamaño del relleno sanitario, puede requerir mayor o menor infraestructura adicional que facilite los trabajos de operación. Parte de la infraestructura adicional se enlista a continuación:

- Cerramiento.

- Zona de clasificación y separación de los residuos.
- Edificio administrativo.
- Control de plagas.

2.11. Criterios de selección de sitio

Para la selección de sitio donde se ubicará el relleno sanitario se considerará criterios clasificados y ponderados según su importancia.

Además, se debe tener en cuenta aspectos importantes como: excluir áreas protegidas, evitar la contaminación de fuentes de agua y aire ya que estas pueden contribuir a la recuperación de suelo erosionado de canteras que han sido explotadas y abandonadas.

A continuación, se plantean los siguientes criterios para la evaluación del sitio a los cuales se les asignó un puntaje, el puntaje cambiará de acuerdo con la zona donde se vaya a realizar el relleno sanitario.

Tabla III. Determinación de la aptitud del sitio	
Suma de los valores	Aptitud como relleno sanitario
70 – 100	Excelente
50 – 70	Buena
30 – 50	Mala
20 – 30	Muy mala
<20	No se debe considerar como sitio de relleno
Aplica uno o dos más de los criterios excluyentes	

Fuente: Röben, E., 2002.

Criterios generales

Dimensiones del terreno:

Tabla IV. Evaluación de la superficie disponible para rellenar con desechos

Superficie disponible para rellenar	Superficie (Ha)	Valor
Situación óptima	Población > 200000; 20ha y más	2,4
	Población > 50000; 10ha y más	
	Población < 50000; 5ha y más	
Situación mediana	Población > 200000; 8 - 20 ha	0,5 - 2,0
	Población > 50000; 4 - 10ha	
	Población < 50000; 2 - 5ha	
Situación mala	Población > 200000; menor a 8ha	0
	Población > 50000; menor a 4ha	
	Población < 50000; menor a 2ha	

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla V. Evaluación del área disponible para lagunas de lixiviados

Superficie disponible para construcción de una laguna de lixiviado	Porcentaje del terreno utilizado para rellenar	Valor
Situación optima	Alta pluviosidad > 1800 mm/año	150 o mas
	Mediana pluviosidad 1000 - 1800 mm/año	100 o mas
	Baja pluviosidad < 1000 mm/año	50 o mas
Situación mediana	Alta pluviosidad > 1800 mm/año	100 - 150
	Mediana pluviosidad 1000 - 1800 mm/año	75 - 100
	Baja pluviosidad < 1000 mm/año	30 - 50
Situación mala	Alta pluviosidad > 1800 mm/año	< 100
	Mediana pluviosidad 1000 - 1800 mm/año	< 75
	Baja pluviosidad < 1000 mm/año	< 30

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla VI. Evaluación de la superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares

Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares (reciclaje, lombricultura)	Valor
> 40% del área para rellenar	2,2
20 - 40% del área para rellenar	0,3 - 2,0
< 20% del área para rellenar	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Morfología:

Tabla VII. Criterios de evaluación de la topografía del terreno

Topografía del Terreno	Valor
Terreno plano con poca inclinación (1 - 3%)	2,2
Terreno casi plano ligeramente inclinado (3 - 12%)	0 - 2,0
Terreno con inclinación mayor al 12%	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla VIII. Identificación de las barreras naturales

Barreras Naturales	Valor
Relleno se encuentra dentro de un bosque denso (cintura de árboles de alrededor de 100 m de extensión)	1,8
Existe una loma (mayor a 20 m) que separa el relleno de los alrededores de la población más cercana	1,8
Relleno ubicado en un sitio más alto que los alrededores	0,2 - 1,6
No existe barrera natural	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Posibilidad de extensión:

Tabla IX. Evaluación del potencial a futuro del sitio

Criterios	Valor
Posibilidad de ampliar el relleno en un futuro sobre un área	0,8

similar al sitio actual	
Posibilidad de ampliar el relleno en un futuro sobre un área menor a al sitio actual	0,1 - 0,7
Sin posibilidad de ampliar el terreno del relleno	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla X. Evaluación de la vida útil estimada

Volumen disponible para rellenar en el sitio de extensión	Valor
Para 15 años y mas	0,8
Para 5 - 15 años	0,1 - 0,7
Para 5 años	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Propiedad:

Tabla XI. Evaluación según la pertenencia del terreno

Propiedad	Valor
El terreno pertenece a una entidad estatal o al municipio	0,6
El terreno pertenece a un solo propietario privado	0,4
El terreno pertenece a varios propietarios privados bien definidos y con aptitud positiva	0,3
Existe problemas legales con el terreno, hostilidad al proyecto por parte de los propietarios	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Existencia de estructuras, infraestructura y condiciones técnicas

Distancia a estructuras existentes como:

Tabla XII. Evaluación según la cercanía a poblados

Distancias entre el relleno y las estructuras existentes, infraestructura	Valor
El barrio más cercano se encuentra a una distancia mayor a 1 km.	2,8
El barrio más cercano está ubicado a una distancia mayor a 500 m del	2,8

relleno sanitario, además existe una barrera natural que los separa

El barrio más cercano está ubicado a 1 km de distancia, existen algunas casas singulares cerca del relleno	2
El barrio más cercano está ubicado a más de 1 km de distancia, pero tiene vista directo al relleno	1
El barrio más cercano está ubicado a una distancia de 500 m - 1km del relleno, no tiene barrera natural	1
El barrio más cercano está ubicado a una distancia de 300 m - 500m del relleno, si tiene barrera natural	1
El barrio más cercano está ubicado a una distancia de 500 m - 1km del relleno, vista directa al relleno	0
El barrio más cercano está ubicado a menos de 500 m de distancia del relleno sanitario, no tiene barrera natural	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Zonas protegidas

Tabla XIII. Evaluación según la distancia a zonas protegidas

Distancia a zonas protegidas	Valor
El terreno destinado para el relleno esta fuera de una zona protegida. La zona protegida más cercana está a 1 km de distancia o mas	0,7
El terreno destinado para el relleno esta fuera de una zona protegida. La zona protegida más cercana está a una distancia menor a 1 km.	0,3
El sitio está ubicado adyacente de una zona protegida	0,1
El sitio está ubicado dentro de una zona protegida	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XIV. Evaluación según la distancia a sitios de recreación

Distancia a Sitios Recreativos	Valor
El sitio recreativo más cercano está ubicado a una distancia mayor a 1 km del relleno sanitario.	0,9
El sitio recreativo más cercano está ubicado a una distancia de 500 m a 1 km del relleno sanitario.	0,4 - 0,8
El sitio recreativo más cercano está ubicado a una distancia menor a 500 m del relleno sanitario.	0

El terreno destinado para el relleno se encuentra próximo a una cuenca de agua superficial usada para fines recreativos.

0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XV. Evaluación según la distancia a sembríos o zonas agrícolas

Distancia a zonas sensibles de agricultura	Valor
El relleno sanitario está ubicado a una distancia mayor a 1km de zonas sensibles a la agricultura. No se utiliza para riego las aguas del medio de descarga, a una distancia mayor a 2km	0,7
El relleno sanitario está ubicado a una distancia de 500 m a 1 km de zonas sensibles a la agricultura. Se utiliza para riego las aguas del medio de descarga, hasta una distancia mayor a 1km	0,3 - 0,6
Se utilizan para riego las aguas del medio de descarga a una distancia entre 1 - 2 km, abajo del punto de descarga	0,3 - 0,6
El relleno está ubicado a una distancia menor a 500 m de una zona sensible de agricultura	0
Se utilizan para riego las aguas del medio de descarga a una distancia menor a 500 m, abajo del punto de descarga	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XVI. Evaluación según la distancia a zonas industriales

Distancia a Zonas Industriales	Valor
Zona industrial adyacente	0,7
Zona industrial localizada a una distancia menor a 1 km	0,1 - 0,6
Zona industrial localizada a una distancia mayor a 1 km	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Distancia al relleno sanitario:

Tabla XVII. Evaluación según el medio de acceso al sitio

Vías de acceso	Valor
Vía existente accede hasta el sitio; no se necesita construcción adicional	1,8
Vía pasa en una distancia menor a 500 m; se debe construir este	0,8 - 1,7

tramo	
Vía pasa en una distancia entre 500 y 1000 m; se debe construir este tramo	0 - 0,7
Vía pasa en una distancia mayor a 1km	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XVIII. Evaluación según la distancia a una infraestructura relacionada al manejo de desechos solidos

Distancia a una infraestructura relacionada al manejo de desechos solidos	Valores
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra adyacente	1,5
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra en una distancia de menos de 3 km	0,2 – 1,3
Planta de compostaje/ reciclaje/ otra en una distancia de más de 3 km	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Infraestructura necesaria para el relleno sanitario:

Tabla XIX. Evaluación según el acceso a agua potable

Acceso a Agua Potable o Entubada	Valor
En el sitio existe una conexión de agua potable o entuba	0,1
En el sitio no existe una conexión de agua potable o entubada, pero se puede obtener agua fácilmente.	0,1
Habría que traer agua desde lejos	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XX. Evaluación según la disponibilidad de alcantarillado sanitario

Alcantarillado para aguas servidas y lixiviados	Valor
Existe conexión de alcantarillado	0,1
No existe conexión de alcantarillado	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXI. Evaluación según la existencia de drenaje pluvial

Drenaje para aguas lluvias	Valor
Existe drenaje para aguas lluvias	0,1
No existe drenaje para aguas lluvias	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla XXII.** Evaluación según el estado de las vías de acceso

Estado de las vías de acceso	Valor
Vía en buen estado: amplia, asfaltada o lastrada, apta para el tráfico de vehículos pesados	1,5
Se necesita lastrar o asfaltar una parte de la vía de acceso	1
Se necesita ampliar o parcialmente reconstruir una parte de la vía de acceso	0,5
Se necesita lastrar o asfaltar la vía completa	0,3
Se necesita ampliar o reconstruir la vía entera	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla XXIII.** Evaluación según la conexión del sitio a las vías de acceso

Conexión existente del sitio a las vías de acceso	Valores
La vía de acceso pasa por el terreno	0,4
Existe una conexión con una vía pequeña que se debe mejorar	0,3
La vía de acceso viene hacia la frontera del terreno	0,2
Se debe construir un tramo corto menor a 1km para conectar el sitio con la vía de acceso	0,1
Se debe construir un tramo largo mayor a 1km para conectar el sitio con la vía de acceso	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla XXIV.** Evaluación según la disponibilidad de servicio eléctrico y telefónico

Electricidad y teléfono	Valores
Existe conexión a electricidad y teléfono	0,1
No existe conexión a electricidad y teléfono	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Medio ambiente

Impacto de la operación del relleno sanitario:

Tabla XXV. Evaluación según el impacto estético al paisaje

Impacto estético al paisaje	Valores
El sitio se encuentra en un paisaje previamente alterado	0,4
El sitio se encuentra en un paisaje natural pero que no es diferente de los alrededores	0,2
El sitio se encuentra en un lugar de interés especial (formaciones geológicas, vista panorámica, paisaje hermoso, etc.)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXVI. Evaluación según la afectación a la capa vegetal

Remoción de la capa vegetal existente para la construcción del relleno	Valores
No existe capa vegetal; la capa ha sido removido o el sitio está ubicado en un terreno árido	0,9
Existe capa vegetal de menor importancia (pasto, montes, etc.), no hay especies endémicas en el sitio	0,7
La capa vegetal consiste de bosque secundario, pero no es endémica del sitio	0,3
En el sitio existe plantas endémicas de la región	0
La capa vegetal es un bosque primario	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXVII. Evaluación según la afectación a la flora y fauna

Destrucción de la flora y fauna	Valores
No existe fauna importante en el sitio (puede ser habitados por aves o insectos comunes, mamíferos pequeños comunes)	0,4
El sitio alberga algunas especies raras o endémicas de la región pero es uno de muchos habitantes parecidos.	0,2
El sitio es uno de los últimos biotipos locales o regionales que abrigan ciertas especies endémicas.	0

Fuente: Röben, E., 2002.

- Destrucción arqueológica

Tabla XXVIII. Evaluación según la afectación arqueológica

Destrucción arqueológica	Valores
No se encuentran sitios históricos o culturales dentro o alrededor del relleno sanitario; distancia mayor a 300 m	1,2
Existen sitios históricos o culturales de menor importancia en los alrededores del relleno; distancia menor a 300 m	1,0
Existen sitios históricos o culturales de mayor importancia en los alrededores del relleno; distancia menor a 300 m	0,4
Existen sitios históricos o culturales dentro del relleno sanitario que pueden ser trasladados	0,2
Existen sitios históricos o culturales dentro del relleno sanitario que pueden ser trasladados	0

Fuente: Röben, E., 2002.

- Otros impactos estéticos

Tabla XXIX. Evaluación según el impacto visual

Otros impactos estéticos o visuales	Valores
No existe otro impacto visual o estético del relleno sanitario	0,7
Existen impactos menores	0,3 – 0,5
Existen impactos mayores	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Agua:

Propiedades hidrológicas

Tabla XXX. Evaluación según la permeabilidad del suelo

Característicos del suelo hasta 4 m de profundidad	Valores
Capa superior del suelo (0 – 1 m): $k < 10^{-9}$ m/s	12,1
Barrera geológica (1 - 4 m): $k < 10^{-8}$ m/s	
Capa superior del suelo (0 – 1 m): 10^{-8} m/s $< k < 10^{-9}$ m/s	4 – 12
Barrera geológica (1 - 4 m): 10^{-6} m/s $< k < 10^{-8}$ m/s	
Capa superior del suelo (0 – 1 m): 10^{-7} m/s $< k < 10^{-8}$ m/s	2 – 4
Barrera geológica (1 - 4 m): 10^{-4} m/s $< k < 10^{-6}$ m/s	

Capa superior del suelo (0 – 1 m): $k > 10^{-7}$ m/s	0
Barrera geológica (1 - 4 m): $k > 10^{-4}$ m/s	

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXI. Evaluación según las características del suelo

Características del suelo hasta 4 m de profundidad	Valores
Capa superior del suelo (0 – 1 m): arcilla	Barra geológica (1 – 4 m): Roca sin fallas, roca arcillosa, roca de basalto, morrena, roca margosa, roca de sal, de yeso. De cal o de piedra arenisca 12,1
Capa superior del suelo (0 – 1 m): tierra arcillosa-limosa, arcilla con loess, arcilla arenosa	Barra geológica (1 – 4 m): Arcilla arenosa, arcilla limosa, roca con pocas fallas, limo o loess arenoso 4 – 12
Capa superior del suelo (0 – 1 m): limo, loess, arena arcillosa o limosa	Barra geológica (1 – 4 m): Limo, loess, roca o morrena desagregada 2 – 4
Capa superior del suelo (0 – 1 m): arena gruesa, mediana o fina, grava	Barra geológica (1 – 4 m): Grava, tierras aluviales, karst, arena 0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXII. Evaluación según la cercanía a captaciones de agua superficiales

Aguas superficiales cerca del sitio	Valores
No pasan aguas superficiales por el sitio del relleno, tampoco hay una captación de aguas de lluvia	3,7
Hay una captación menor de aguas de lluvia (de un área del mismo tamaño o más pequeño que el del relleno)	1 - 3
Hay una captación importante de aguas de lluvia (de un área más grande que el previsto para el relleno)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXIII. Evaluación según la cercanía a fuentes de agua superficiales

Aguas superficiales cerca del sitio	Valores
No hay fuentes de agua del área de relleno, tampoco en el área arriba del relleno.	4
Existen algunas fuentes de agua arriba del sitio del relleno, cuyo corriente de los cuales se puede fácilmente captar con un drenaje circunvalente	2
Hay fuentes de agua dentro del área de relleno	0
El sitio se encuentra en la orilla del mar, un lago o de un río, en la cama de un río o en la cama de una quebrada, no importa si hay caudal durante todo el año o solamente por estaciones.	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXIV. Según la ubicación del nivel freático

Nivel freático	Valores
La primera capa freática se encuentra en una profundidad mayor a 10 m	3,3
La primera capa freática se encuentra entre 3 y 10 m de profundidad	1 - 3
La primera capa freática se encuentra en una profundidad menor a 3 m	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXV. Según la complejidad del drenaje de aguas superficiales

Drenaje de aguas superficiales	Valores
Simple circunvalación del relleno es suficiente	2,3
Se debe hacer trabajos adicionales al drenaje de circunvalación (drenaje en otros niveles arriba del relleno)	1
Todas las medidas de drenaje se quedan insuficientes en la estación lluviosa	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXVI. Según la amenaza de inundaciones

Protección de inundaciones	Valores
El sitio de relleno se encuentre en distancia suficiente de las aguas superficiales cercanas para no ser afectado por aguajes y desbordes.	0,9
Hay una baja probabilidad de inundaciones	0,2

El sitio se encuentra en un área de inundaciones frecuentes	0
---	---

Fuente: Röben, E., 2002.

Otras aguas de tratamiento

Tabla XXXVII. Según la producción estimada de lixiviado

Cantidad de lixiviado esperado	Valores
Cantidad de aguas lixiviadas menor al 50% del promedio de los valores de todos los sitios investigados	1,4
Cantidad de aguas lixiviadas menor al 75% del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,7
Cantidad de aguas lixiviadas entre 10% más o menos del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,4
Cantidad de aguas lixiviadas mayor al 150% del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0,2
Cantidad de aguas lixiviadas mayor al 200% del promedio de los valores de todos los sitios investigados	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XXXVIII. Según la posibilidad de conexión a una planta de tratamiento de aguas residuales

Posibilidad de conectar el sitio con una planta de tratamiento	Valores
Hay la posibilidad de conexión con una planta existente de tratamiento de aguas usadas a costo razonable	0,8
Hay la posibilidad de conexión con una planta existente de tratamiento de aguas usadas, pero se necesitan inversiones demasiado altas	0
No hay posibilidad de conexión una planta de tratamiento de aguas usadas	0

Fuente: Röben, E., 2002.

- Valores límites de descarga al medio receptor

Tabla XXXIX. Según el método de descarga

Valores límites de descarga al medio receptor	Valores
El medio de descarga es el alcantarillado común	1

Se hace la descarga en un agua superficial sometida a limites comparativamente poco estrictos (al mar, a un río grande)	0,5
Se hace la descarga en un medio sometido	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Climas y emisiones:

Dispersión de las emisiones a gran escala

Tabla XL. Según la dispersión de los contaminantes en el viento

Niveles de contaminación				Valores
Dentro del relleno	En la dirección principal del viento	En el barrio más cercano		
		Bajo condiciones meteorológicas normales	En el caso de flujo de aire frio	
Emisiones > 30 UO/m ³ limitadas al sitio de relleno	Emisiones < 3 UO/m ³ en una distancia de 200m	No hay emisiones olfatorias	No hay emisiones de 1 UO/m ³ o más	6
Emisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia de 50 m	Emisiones < 3 UO/m ³ en una distancia de 500m	se observan emisiones de 1 UO/m ³ en 3 - 5 % de los días	Se observan emisiones de 1 UO/m ³	4,4
Emisiones > 30 UO/m ³ hasta	Emisiones < 3 UO/m ³ en	Se observan emisiones de 1	Se observan emisiones de	2,4

una distancia de 200 m	una distancia de 1000m	UO/m ³ en 10 % de los días	3 UO/m ³	
Emisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia de 500 m	Emisiones 3 – 10 UO/m ³ en una distancia de 1000m	Se observan emisiones de 1 UO/m ³ en más de 10 % de los días	Se observan emisiones de 3 - 10 UO/m ³	0,8
Emisiones > 30 UO/m ³ hasta una distancia mayor a 500 m	Emisiones > 10 UO/m ³ en una distancia mayor a 1000m	Se observan emisiones > 3 UO/m ³	Se observan emisiones > 10 UO/m ³	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLI. Según la frecuencia de presencia de neblina

Frecuencia de neblina	Valores
Casi nunca (5 días/año) se observa neblina en el sitio en cuestión	0,4
La neblina es rara (5 – 10 días/año)	0,3
A veces se observa neblina en el sitio (10 – 30 días/año)	0,1
La neblina es frecuente (> 30 días/año)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLII. Según la frecuencia de inversiones atmosféricas

Frecuencia de inversiones atmosféricas	Valores
Casi nunca (< 2 días/año) se observan inversiones en el sitio en cuestión	0,9

La inversión atmosférica es rara (2 – 5 días/año)	0,7
A veces se observan inversiones en el sitio (5 – 20 días/año)	0,4
La inversión es frecuente (> 20 días/año)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Dispersión de las emisiones a micro-escala

Tabla XLIII. Según la dispersión de los contaminantes en el viento al interior del complejo del relleno

Viento	Valores
El sitio de relleno se encuentra en un lugar bien expuesto al viento	1,2
El sitio de relleno no es muy expuesto al viento, pero tampoco se trata de un lugar muy abrigado	0,4 – 0,9
Se observan frecuentemente flujos de aire frío en dirección horizontal	0
No hay muchas turbulencias de aire; no hay mucho intercambio vertical del aire	0
El sitio de relleno se encuentra en el punto más bajo de una cuenca	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLIV. Evaluación según la frecuencia de neblina

Frecuencia de neblina	Valores
Casi nunca (< 5 días/ año) se observa neblina en el sitio en cuestión	0,8
La neblina es rara (5 - 10 días/año)	0,5
A veces se observa neblina en el sitio (10 - 30 días/año)	0,2
La neblina es frecuente (> 30 días/año)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLV. Evaluación según la frecuencia de inversiones atmosféricas

Frecuencia de inversiones atmosféricas	Valores
Casi nunca (< 2 días/ año) se observan inversiones en el sitio en cuestión	1
La inversión atmosférica es rara (2 - 5 días/año)	0,7
A veces se observan inversiones en el sitio (5 - 20 días/año)	0,3

La inversión es frecuente (> 20 días/año)	0
---	---

Fuente: Röben, E., 2002.

Contaminación ambiental actual alrededor del sitio

Tabla XLVI. Evaluación según la concentración de polvo y aerosoles

Polvo y aerosoles	Valores
Hay una alta concentración (cerca de los límites dados en la legislación) de polvo y aerosoles en el sitio	0,3
Hay una baja concentración de polvo y aerosoles, causada por actividades en los alrededores	0,1
No hay ninguna fuente de polvo o aerosoles.	0
Existe una alta contaminación con polvo y aerosoles (supera los límites dados en la legislación)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLVII. Evaluación según la concentración de dióxido de azufre

SO₂	Valores
Hay una alta concentración (cerca de los límites dados en la legislación) de SO ₂	0,3
Hay una baja concentración de SO ₂ , causada por actividades en los alrededores	0,1
La región no tiene ninguna fuente de SO ₂ .	0
Existe una alta contaminación con SO ₂ (supera los límites dados en la legislación)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLVIII. Evaluación según la presencia de gases de tubos de escape

Gas de escape	Valores
Actualmente hay tráfico y operación de máquinas pesadas en el sitio	0,1
No hay ninguna actividad de vehículos pesados en el sitio	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla XLIX. Evaluación según la contaminación olfatoria

Olor	Valores
Existe alta contaminación olfatoria en el sitio	0,5
Existe baja contaminación olfatoria en el sitio	0,2
No existe contaminación olfatoria en el sitio	0

Fuente: Röben, E., 2002.

- Ruidos Constantes

Tabla L. Evaluación según el nivel de ruido generado

Ruidos constantes	Valores
Ya existe un nivel alto de ruido en los alrededores del sitio	2,3
Existe un nivel mediano de ruido en el área	0,4 – 2
No se observa cualquier ruido en los alrededores del sitio	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Capacidades naturales para minimizar las emisiones

Tabla LI. Evaluación según la producción de polvo en la operación

Producción de polvo durante la operación	Valores
El sitio tiene buenas características para contener el polvo (suelo y material de cobertura arcilloso, limoso o margoso, buena cobertura vegetal, bosques alrededor del sitio, vías de acceso asfaltadas o bien lastradas etc.)	0,7
El sitio tiene algunas características favorables para la minimización de las emisiones	0,2 – 0,7
El sitio está en condiciones muy desfavorables (clima muy árido, alta erosión de viento, suelo seco consistente de materia fina, capa vegetal destruida o no existente etc.)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LII. Evaluación según la producción de polvo en caso de accidentes

Producción de polvo en caso de accidentes	Valores
Es probable que el relleno puede soportar unos días bajo condiciones extraordinarias y sin operación habitual sin generar	0,4

una contaminación demasiada de polvo y materiales volátiles	
Situación intermedia	0,2
Es probable que aumentará considerablemente el nivel de contaminación en caso de accidentes, sean incidentes climáticos o accidentes que impidan el trabajo diario	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LIII. Evaluación según el ruido generado en operación

Ruido generado por la operación	Valores
El sitio es apto para contener los ruidos (Barrera natural topográfica, bosques alrededor, dirección prioritaria del viento no coincide con la dirección en la cual se encuentra el barrio más cercano, buena cobertura vegetal etc.)	0,8
Situación intermedia	0,2 – 0,6
Habrà mucha dispersión de ruido (ecos naturales, no hay cobertura vegetal, no hay bosques alrededor, no hay barrera topográfica, viento en dirección del barrio más cercano)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LIV. Evaluación según el ruido generado por el tráfico en la vía de acceso

Ruido de tráfico en la vía de acceso	Valores
La vía de acceso es una vía de circunvalación con suficiente distancia a barrios poblados	0,6
La vía de acceso pasa por un barrio poblado (< de 500 personas). Hay suficiente distancia entre las casas y la carretera.	0,4
La vía de acceso pasa por un barrio poblado (< de 500 personas afectadas). Las casas se encuentran directamente al lado de la carretera	0,2
La vía de acceso pasa directamente por más de un barrio poblado (> 500 personas afectadas). Las casas se encuentran directamente al lado de la carretera	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LV. Evaluación según la dispersión de materiales volátiles

Dispersión de materiales volátiles	Valores
Hay una buena barrera topográfica y bosques alrededor del sitio; no hay vientos tempestuosos	0,4
Situación intermedia	0,1 – 0,3
El sitio es completamente expuesto al viento, hay frecuentemente vientos fuertes y tempestades	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Capacidad del territorio para la construcción del relleno sanitario:

Material de cobertura

Tabla LVI. Evaluación según el material de cobertura y de fondo

Material para la capa impermeable de fondo y de cobertura final	Valores
Existe material en cantidad y calidad suficiente para construir las capas impermeables de fondo y de cobertura tanto de los taludes como de los módulos/ celdas cerrados	0,7
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,1 – 0,6
Se debe traer todo el material para la capa impermeable de fondo y la cobertura final de afuera	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LVII. Evaluación según la disponibilidad de material de cobertura diaria

Material para cobertura diaria	Valores
Existe material en cantidad y calidad suficiente para hacer la cobertura diaria de la basura con el espesor requerido	4,7
Existe bastante material para la cobertura diaria, pero la calidad es deficiente	3 – 4
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,5 – 2,0
Se debe traer una gran cantidad (> 50 %) del material para las coberturas diarias de afuera	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LVIII. Evaluación según el material para la re-cultivación luego del cierre

Material para la re-cultivación después del cierre	Valores
Existe tierra humus en cantidad suficiente en el sitio	0,6
Se puede conservar la capa de humus durante la preparación del sitio	0,6
Se puede aprovechar del compost grueso y mediano producido en una planta de compostaje adyacente	0,6
Existe una parte del material; se debe traer el resto de afuera	0,2 – 0,5
Se debe traer una gran cantidad (> 50 %) del material para la capa de humus de afuera	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla LIX.** Evaluación según las propiedades del suelo para excavación

Propiedades del suelo para la excavación	Valores
Terreno blando y fácil para excavar; material deseado se encuentra en la superficie	0,5
Situación intermedia	0,1 – 0,4
Terreno demasiado duro y difícil a excavar	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla LX.** Evaluación según la accesibilidad al material para excavación

Propiedades del suelo para la excavación	Valores
Acceso fácil, superficie bastante grande, terreno plano o casi plano	0,4
Situación intermedia	0,1 – 0,3
Se debe hacer una excavación sumamente profunda para acceder al material necesario	0
El material necesario se encuentra en un terreno hondo o una loma con bastante pendiente	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Seguridad general:**Tabla LXI.** Evaluación según el riesgo de incendio

Incendio	Valores
Hay suficiente distancia entre el área de relleno y posibles fuentes de incendio o no se identificaron fuentes externas de incendio. En caso de incendio causado en el relleno mismo, es fácil evacuar los trabajadores y el equipo. El incendio no afectaría el medio ambiente (agua, suelo, vegetación cercana) o los barrios cercanos.	0,2
Situación intermedia	0 – 0,2
Hay una posible fuente de incendio cerca (< 1000 m) del relleno; no hay barrera (quebrada, terreno vacío sin vegetación) entre este lugar y el relleno	0
Sería sumamente difícil evacuar los trabajadores y el equipo en caso de incendio	0
El incendio podría tener graves impactos sobre los barrios cercanos y el medio ambiente	0

Fuente: Röben, E., 2002.**Tabla LXII.** Evaluación según el riesgo de explosiones

Explosiones	Valores
Hay suficiente distancia entre el área de relleno y posibles fuentes de explosiones o no se identificaron fuentes externas de explosiones. En caso de explosiones causado en el relleno mismo, es fácil evacuar los trabajadores y el equipo. Una posible explosión no afectaría el medio ambiente (agua, suelo, vegetación cercana) o los barrios cercanos.	0,2
Situación intermedia	0 – 0,2
Hay una posible fuente de explosiones cerca (< 1000 m) del relleno; no hay barrera (quebrada, terreno vacío sin vegetación) entre este lugar y el relleno	0
Sería sumamente difícil evacuar los trabajadores y el equipo en caso de explosiones	0
Una explosión podría tener graves impactos sobre los barrios cercanos y el medio ambiente	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXIII. Evaluación según el riesgo de deslizamiento de tierra

Deslizamiento de tierra	Valores
El sitio en cuestión no está expuesto a caídas de tierra desde arriba, tampoco puede ser movido hacia abajo. Se encuentra en un terreno suficientemente plano, y hay bastante distancia entre el sitio de relleno y eventuales lomas o precipicios en los alrededores	0,7
En caso de caída de tierra, el sitio de relleno se podrá quedar bajo una masa de tierra	0
Sería posible que el terreno de relleno se caiga abajo.	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXIV. Evaluación según el riesgo sísmico

Terremoto	Valores
El sitio en cuestión, sus alrededores y las vías de acceso no se encuentran en una zona de terremoto (zona sísmica 0 o 1)	0,7
El sitio se encuentra en una zona de terremoto de riesgo moderado (zona sísmica 2) pero tiene un suelo sumamente estable. No hay peligro de caída de tierra	0,6
El sitio de relleno se encuentra en una zona de terremoto de riesgo moderado (zona sísmica 2) y no tiene un suelo estable.	0
El sitio de relleno se encuentra en una zona con alto riesgo de terremoto (zona sísmica 3 o 4) pero tiene un suelo sumamente estable. No hay peligro de caída de tierra.	0,3
El sitio de relleno se encuentra en una zona con alto riesgo de terremoto (zona sísmica 3 o 4) y no tiene un suelo estable. Hay riesgo de caída de tierra o de caída del cuerpo de basura.	0
La vía de acceso al relleno se encuentra en una zona de terremoto y sobre una falla geológica	0
El sitio de relleno sanitario se encuentra en una zona de terremoto y sobre una falla geológica	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXV. Evaluación según el riesgo de accidentes de transporte

Accidentes de transporte	Valores
La vía de acceso no constituye ningún peligro	0,2

La vía de acceso tiene unos puntos peligrosos (abismos, puentes insuficientes, estrecha, curvas pendientes extremas etc.) pero se puede mejorar	0,1
La vía de acceso tiene unos puntos peligrosos y no hay el presupuesto necesario para remediarla	0
La vía de acceso es muy peligrosa, no se la puede mejorar y en el pasado se han observado accidentes graves con vehículos pesados (caída en un río, caída en un precipicio etc.)	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXVI. Evaluación según el riesgo de actividad volcánica

Actividad Volcánica	Valores
El sitio en cuestión no se encuentra en una región con actividad volcánica	0,7
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica, pero está fuera del alcance del impacto de las erupciones (sea por topografía o por distancia)	0,7
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica. Hay la posibilidad que se quedaría bajo ceniza, pero no bajo lava. No hay problema de evacuar los trabajadores o el equipo en caso de erupción.	0,3
El sitio en cuestión se encuentra en una región con actividad volcánica. Hay la posibilidad que se quedaría bajo ceniza y no bajo lava. No hay problema de evacuar los trabajadores o el equipo en caso de erupción.	0
El sitio se encuentra en una región con actividad volcánica y será afectado por una erupción. Sería sumamente difícil la evacuación de los trabajadores y del equipo del sitio	0
El sitio en cuestión se encuentra en la cuenca directa de un volcán. Se puede quedar bajo lava y la lava puede llevar el cuerpo de basura	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Competencia del sitio respecto a los trabajos a realizarse

luego del cierre del relleno:

Tabla LXVII. Evaluación según el riesgo de asentamientos del terreno

Asentamientos del terreno	Valores
----------------------------------	----------------

Terreno firme y seco, clima no demasiado húmedo, buena vegetación natural y aptitud del suelo para re-cultivación	0,6
Situación intermedia	0,1 – 0,5
Suelo flojo	0
Alta humedad del suelo	0
Clima demasiado húmedo o tan árido que no es posible plantar una buena cobertura vegetal después del cierre del relleno	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXVIII. Evaluación según los requerimientos de drenaje y tratamiento de los lixiviados

Drenaje y tratamiento de los lixiviados	Valores
Región muy árida, no se requiere drenaje o tratamiento de las aguas lixiviadas	0,5
Planta de tratamiento muy simple (laguna), canales de drenaje fácilmente accesibles, no hay lluvias excesivas o inundaciones	0,5
Planta de tratamiento muy simple (laguna), canales de drenaje fácilmente accesibles, pero hay situaciones de lluvia excesiva	0,4
Planta de tratamiento necesita cuidado regular, canales de drenaje se deben renovar a menudo	0,2
Sitio sujeto a inundaciones	0
Planta de tratamiento con tecnología avanzada, requiere atención permanente	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXIX. Evaluación según los requerimientos de drenaje de aguas superficiales

Drenaje de aguas superficiales	Valores
Región muy árida, no se requiere drenaje	0,3
Canales de drenaje fácilmente accesibles, no hay lluvias excesivas o inundaciones	0,2
Canales de drenaje fácilmente accesibles, pero hay situaciones de lluvia excesiva	0,1
Canales de drenaje se deben renovar a menudo	0,1
Sitio sujeto a inundaciones	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXX. Evaluación según los requerimientos de drenaje e incineración del gas

Drenaje e incineración del gas	Valores
Hay una planta de compostaje donde se aprovechan los desechos biodegradables y casi no se produce gas de relleno	0,3
Control y mantenimiento del drenaje de los gases de relleno son fácil y no se debe hacer con mucha frecuencia	0,3
Se deben controlar y renovar las chimeneas a menudo	0
Hay una planta de tratamiento con tecnología avanzada que requiere presencia permanente	0
La topografía del sitio provoca problemas de acceso	0

Fuente: Röben, E., 2002.

Tabla LXXI. Resumen de criterios de evaluación para la selección del sitio

Criterios			Valores
Generales	Dimensiones del terreno	Superficie disponible para rellena	
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares.	
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares.	
		Volumen disponible para re llenar	
	Morfología del terreno	Topografía del terreno	
		Barreras Naturales	
	Posibilidad de extensión	Extensión de la superficie del terreno.	
		Extensión de volumen de basura	
	Propiedad (municipal o privada)	Propiedad actual	
		Posibilidad de venta o expropiación	
No existe conexión a electricidad y teléfono	Distancia a estructuras existentes	Barrios poblados	
		Zonas protegidas	
		Sitios de recreación	
		Zonas sensibles de agricultura	
		Zonas sensibles industriales	
	Distancia al relleno sanitario	Distancia de vías de acceso	
		Distancia a una infraestructura relacionada al manejo de desechos solidos	
		Zonas Industriales	

	Existencia de infraestructura necesaria para el relleno sanitario	Acceso a agua potable y alcantarillado	
		Alcantarillado para aguas servidas y lixiviados	
		Drenaje de aguas lluvias	
		Estado de las vías de acceso	
		Futuros cambios en las vías de acceso	
		Conexión existente del sitio con las vías de acceso	
		Electricidad y teléfono	
Medio Ambiente	Impacto de la operación del relleno sanitario	Impacto al paisaje	
		Destrucción de la capa vegetal	
		Destrucción de la fauna y flora	
		Destrucción arqueológica	
		Otros impactos estéticos	
	Impacto después del cierre del relleno sanitario	Impacto al paisaje	
		Destrucción de la capa vegetal	
		Destrucción de la fauna y flora	
		Destrucción arqueológica	
Agua	Propiedades hidrológicas	Permeabilidad del suelo	
		Cuencas hidrológicas alrededor del terreno del relleno	
		Aguas superficiales cerca del sitio	
		Nivel freático	
		Drenaje de aguas superficiales	
		Protección de inundaciones	
	Otras aguas de tratamiento	Cantidad de lixiviado esperado	
		Posibilidad de conectar el sitio con una planta de tratamiento	
		Valores límites de descarga al medio receptor	
Clima y emisiones	Dispersión de las emisiones a gran escala	Viento	
		Frecuencia de neblina	
		Frecuencia de inversiones atmosféricas	
	Contaminación ambiental actual alrededor del sitio	Polvo y aerosoles	
		SO ₂	
		Olor	
		Ruidos	
		Ruidos agudos	
	Dispersión de las emisiones a menor	Viento	
		Frecuencia de neblina	

	escala (dentro del sitio)	Frecuencia de inversiones atmosféricas	
	Contaminación ambiental actual del sitio	Polvo y aerosoles	
		SO ₂	
		Gas de escape	
		Olor	
		Ruidos constantes	
	Capacidad natural para minimizar las emisiones	Producción de polvo durante la operación	
		Producción de polvo en caso de accidente	
		Ruido generado por la operación	
		Ruido de tráfico en la vía de acceso	
		Ruido de tráfico en las otras vías cercanas	
		Dispersión de materiales volátiles	
Capacidad del terreno	Material de cobertura	Material para capa impermeable de fondo y de cobertura final	
		Material para cobertura diaria	
		Material para re-cultivación después del cierre	
	Propiedades del suelo para excavación	Propiedades del suelo para excavación	
		Superficie disponible	
Seguridad general	Condición del sitio en caso de catástrofe	Incendio	
		Explosiones	
		Deslizamiento de tierra	
		Terremoto	
		Accidentes de transporte	
		Actividad volcánica	
	Competencia del sitio respecto a los trabajos a realizarse luego del cierre del relleno	Asentamientos del terreno	
		Drenaje y tratamiento de los lixiviados	
		Drenaje de aguas superficiales	
		Drenaje e incineración de gas	

Fuente: Röben, E., 2002.

CAPÍTULO 3

MARCO LEGAL

3.1. Leyes Nacionales

3.1.1. Constitución de la República del Ecuador

En primer lugar, el manejo de desechos sólidos es una actividad que se encuentra estrechamente relacionada con uno de los fines principales de las Instituciones del Estado, en la Constitución de la República de Ecuador existe distintos artículos que están ligados al medio ambiente como:

En la sección del ambiente sano se señala en el Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En el título V de la Organización Territorial del Estado, capítulo cuarto en el Régimen de Competencias, Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin

perjuicio de otras que determine la ley: en el literal cuarto menciona

4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

En el Título VII del Régimen del Buen Vivir, el capítulo segundo de Biodiversidad y recursos naturales, en la Sección séptima, Biosfera, ecología urbana y energías alternativas, hacemos referencia al siguiente artículo

Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes.

Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos. Se

incentivaré y facilitaré el transporte terrestre no motorizado, en especial mediante el establecimiento de ciclo vías.

3.1.2. Ley de Gestión Ambiental

En el Título I, Ámbitos y principios de la Gestión Ambiental se establecen como principios de la gestión ambiental entre otros

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Art. 5.- Se establece el Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental como un mecanismo de coordinación transectorial, interacción y cooperación entre los distintos ámbitos, sistemas y subsistemas de manejo ambiental y de gestión de recursos naturales.

En el Título III de los Instrumentos de Gestión Ambiental, en el capítulo I acerca de la Planificación

Art. 14.- Los organismos encargados de la planificación nacional y seccional incluirán obligatoriamente en sus planes respectivos, las normas y directrices contenidas en el Plan Ambiental Ecuatoriano (PAE).

Los planes de desarrollo, programas y proyectos incluirán en su presupuesto los recursos necesarios para la protección y uso sustentable del medio ambiente. El incumplimiento de esta disposición determinará la inejecutabilidad de estos.

3.1.3. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

Del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, de las Políticas Básicas Ambientales del Ecuador, hacemos referencia al libro VI anexo 2, acerca de las Normas de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados, donde podemos destacar los siguientes puntos.

Prevenir y reducir la generación de residuos sólidos municipales, industriales, comerciales y de servicios, incorporando técnicas apropiadas y procedimientos para su minimización, rehúso y reciclaje.

Durante las diferentes etapas del manejo de residuos industriales, comerciales y de servicios se prohíbe:

- a) El depósito o confinamiento de residuos no peligrosos y peligrosos en suelos de conservación ecológica o áreas naturales protegidas.
- b) El depósito o confinamiento de residuos industriales, comerciales y de servicios de carácter peligroso en el suelo. Sin embargo, este procedimiento podrá aplicarse, siempre y cuando la parte interesada presente los estudios técnicos que demuestren fehacientemente la viabilidad ambiental y posea el correspondiente permiso emitido por la entidad ambiental de control.

En el libro VI anexo 6 acerca de la Norma de Calidad Ambiental Para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos No Peligrosos, esta norma establece:

Los procedimientos generales en el manejo de los desechos sólidos no peligrosos, desde la generación hasta la disposición final; y las normas de calidad que deben cumplir los desechos sólidos no peligrosos para cumplir con estándares que permitan la preservación del ambiente.

3.1.4. Código Penal

En el código penal ecuatoriano vigente hay sanciones a delitos cometidos contra la naturaleza, producidos por la eliminación inadecuada de desechos, en el capítulo X A, DE LOS DELITOS CONTRA EL MEDIO AMBIENTE (Capítulo agregado por el Art. 2 de la Ley 99-49, R.O. 2, 25-I-2000)

Art. 437 B.- El que infringere las normas sobre protección del ambiente, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiere causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido.

Art. 437 C.- La pena será de tres a cinco años de prisión, cuando:

- a) Los actos previstos en el artículo anterior ocasionen daños a la salud de las personas o a sus bienes;
- b) El perjuicio o alteración ocasionados tengan carácter irreversible;

- c) El acto sea parte de actividades desarrolladas clandestinamente por su autor; o,
- d) Los actos contaminantes afecten gravemente recursos naturales necesarios para la actividad económica.

Art. 437 D.- Si a consecuencia de la actividad contaminante se produce la muerte de una persona, se aplicará la pena prevista para el homicidio inintencional, si el hecho no constituye un delito más grave.

En caso de que a consecuencia de la actividad contaminante se produzcan lesiones, impondrá las penas previstas en los artículos 463 a 467 del Código Penal.

Art. 437 E.- Se aplicará la pena de uno a tres años de prisión, si el hecho no constituyere un delito más severamente reprimido, al funcionario o empleado público que actuando por sí mismo o como miembro de un cuerpo colegiado autorice o permita, contra derecho, que se viertan residuos contaminantes de cualquier clase por encima de los límites fijados de conformidad con la ley; así como el funcionario o empleado cuyo informe u opinión haya conducido al mismo resultado.

3.1.5. Código de Salud

El cuerpo normativo establece en el LIBRO II, Salud y seguridad ambiental, CAPITULO II, De los desechos comunes, infecciosos, especiales y de las radiaciones ionizantes y no ionizantes

Art. 97.-La autoridad sanitaria nacional dictará las normas para el manejo de todo tipo de desechos y residuos que afecten la salud humana; normas que serán de cumplimiento obligatorio para las personas naturales y jurídicas.

Art. 98.- La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con las entidades públicas o privadas, promoverá programas y campañas de información y educación para el manejo de desechos y residuos.

Art. 99.- La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con los municipios del país, emitirá los reglamentos, normas y procedimientos técnicos de cumplimiento obligatorio para el manejo adecuado de los desechos infecciosos que generen los establecimientos de servicios de salud, públicos o privados, ambulatorio o de internación, veterinaria y estética.

Art. 100.- La recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos es responsabilidad de los municipios que la realizarán de acuerdo con las leyes, reglamentos y ordenanzas que se dicten para el efecto, con observancia de las normas de bioseguridad y control determinadas por la autoridad sanitaria nacional. El Estado entregará los recursos necesarios para el cumplimiento de lo dispuesto en este artículo.

Art. 103.- Inc. 2 Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país.

Para la eliminación de desechos domésticos se cumplirán las disposiciones establecidas para el efecto.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir estas disposiciones.

3.1.6. Ley de Preservación y control de la contaminación ambiental

Este cuerpo regulador establece en el CAPITULO III, DE LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS

Art. 10.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes.

Art. 11.- Para los efectos de esta Ley, serán consideradas como fuentes potenciales de contaminación, las sustancias radioactivas y los desechos sólidos, líquidos o gaseosos de procedencia industrial, agropecuaria, municipal o doméstica.

Art. 13.- Los Ministerios de Salud y del Ambiente, cada uno en el área de su competencia, en coordinación con las municipalidades, planificarán, regularán, normarán, limitarán y supervisarán los sistemas de recolección, transporte y disposición final de basuras en el medio urbano y rural

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.1. Localización geográfica y área del proyecto

El terreno del botadero de basura actual del cantón San Jacinto de Yaguachi, es un terreno perteneciente al GAD Municipal ubicado a 8km de la cabecera cantonal Yaguachi Nuevo, con una extensión aproximada de 13 ha de las cuales, 1 ha se encuentra cubierta por desechos sólidos depositados de manera descontrolada. El terreno se ubica en el predio delimitado por las siguientes coordenadas:

Tabla LXXII. Coordenadas del terreno
De botadero actual

PUNTO	NORTE	ESTE
1	9774197	648491
2	9774210	648232
3	9773974	648226
4	9773951	648477

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2018.

El terreno se encuentra en una zona baja en la cota 5m.s.n.m. aproximadamente, en las zonas circundantes se desarrollan actividades agrícolas donde se pudo evidenciar sembríos predominantemente de arroz y caña de azúcar. También se observó en las cercanías, la presencia de cuerpos de aguas que forman humedales, lo que demuestra la alta susceptibilidad a sufrir inundaciones de la zona.

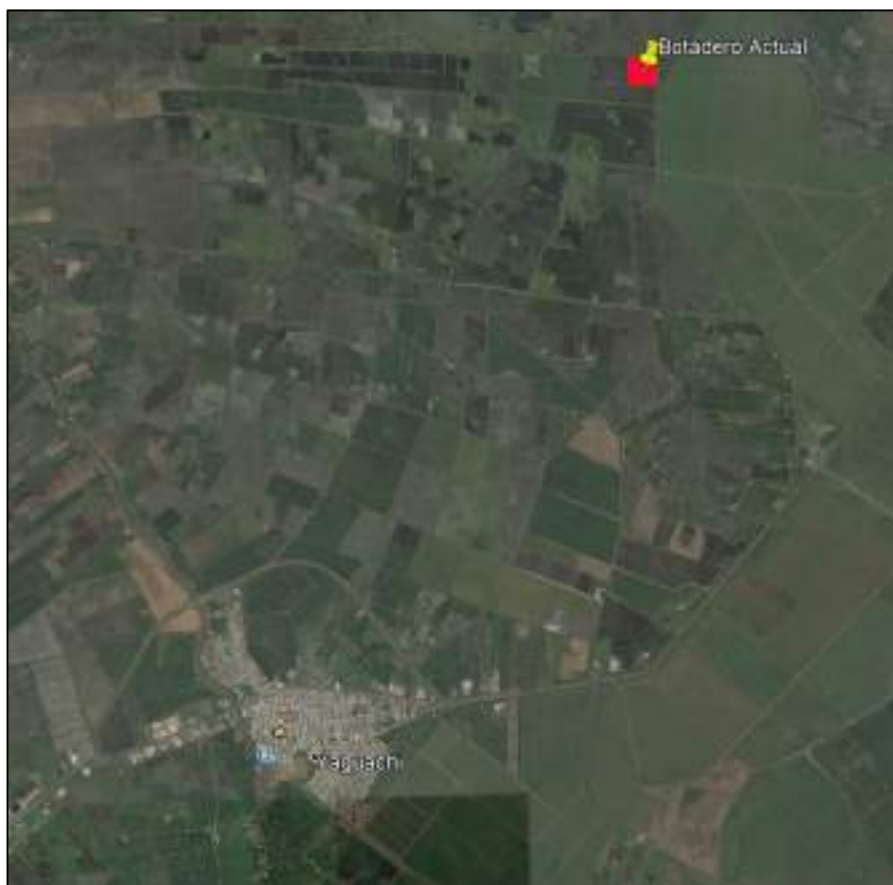


Figura 4.1. Ubicación del botadero actual
Fuente: Google Earth, 2018.

4.2. Aspectos Naturales

4.2.1. Geología

El cantón Yaguachi se encuentra en la margen del Río Babahoyo, por lo que forma parte de la cuenca baja del Guayas la cual es la cuenca más grande del pacífico, debido a que esta zona se encuentra a elevaciones bajas con respecto al nivel de mar la geología del cantón está conformada por grandes depósitos de suelos aluviales y arcillas estuarinas ya que a lo largo del tiempo

la acción erosiva de los agentes atmosféricos han transportado estos materiales procedentes de las formaciones rocosas de la cordillera de los Andes.



Figura 4.2 Mapa litológico del cantón Yaguachi
Fuente: IGM, 2018

4.2.2. Topografía

Dado que el cantón se encuentra en la zona media de la región costera del Ecuador, las elevaciones del cantón en toda su extensión oscilan entre 5 a 15 m.s.n.m. pudiendo clasificarse principalmente como esencialmente llano con suaves depresiones que forman ligeros valles.

4.2.3. Clima

El clima del cantón se puede clasificar como tropical mega térmico semi-húmedo. En el cantón se presentan dos estaciones claramente definidas, características de la ubicación geográfica del Ecuador en donde solo se desarrollan el invierno y el verano. Desarrollándose el invierno en los meses de diciembre a mayo con fuertes precipitaciones y el verano de junio a noviembre. Como se observa en los datos registrados en la estación meteorológica ubicada en el ingenio Valdez en Milagro, ya que es la estación más cercana al área de estudio.

Tabla LXXIII. Registro de precipitación mensual de la estación meteorológica de la ciudad de Milagro

MESES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)
ENERO	163.5
FEBRERO	464.9
MARZO	238.4
ABRIL	330.5
MAYO	34.8
JUNIO	1.3
JULIO	3.3
AGOSTO	0.7
SEPTIEMBRE	0
OCTUBRE	0.2
NOVIMEBRE	7.1
DICIEMBRE	124.8

Fuente: INAMHI, 2013.

La temperatura oscila entre 26 y 36 °C en el invierno y para los meses de verano se presentan temperaturas más agradables; bajo un clima seco, que oscilan entre los 20 y 28°C.

4.2.4. Hidrología

La zona de la Cuenca Baja del Guayas a la que pertenece el cantón San Jacinto de Yaguachi posee una densa red hidrográfica de la que se puede resaltar los ríos Chan-Chan y Milagro los cuales convergen para formar el Río Chimbo que luego pasa a llamarse Río Yaguachi y que finalmente desemboca en el Río Babahoyo.

También, otros ríos que son importantes y atraviesan el área del cantón son el Río Bulu Bulu y Barranco Alto. Entre los esteros que conforman la hidrografía de la zona los más importantes son el Estero Mojahuevo y el Estero Culebras.

4.2.5. Recursos Naturales

La zona se caracteriza por tener gran actividad económica en cuanto al aprovechamiento de los recursos naturales por contar con varios ríos de orden medio que facilita la presencia de material granular comúnmente aprovechado para actividades

mineras, de explotación de bancos de arena y grava de las márgenes de los cauces, por ser materiales altamente demandados por el sector de la construcción.

De igual manera la explotación del subsuelo para la obtención de agua empleada en las actividades cotidianas de la población es el método de obtención de agua más común utilizado por los habitantes del cantón. Mientras que las fuentes de agua superficiales se emplean para el riego de cultivos y el ganado.

4.2.6. Uso actual y potencial del suelo

La extensión del cantón mayormente es empleada en actividades agropecuarias debido a la fertilidad de sus suelos, por lo que se pueden encontrar sembríos de banano, caña de azúcar y cacao en las zonas menos propensas a inundaciones. En las áreas pantanosas se pueden observar cultivos de arroz y ciclo corto, o también es común la presencia de pasto cultivado para la alimentación del ganado.

Con relación a las grandes extensiones de terreno empleado en las actividades agropecuarias, las zonas urbanas e industriales son menores.

4.2.7. Riesgos Naturales

Se conoce que el cantón San Jacinto de Yaguachi debido a que se encuentra en la llanura del Guayas es un área propensa a inundaciones, sobre todo por su cercanía a los ríos que se encuentran en la cuenca baja del Guayas que históricamente han representado un peligro hacia la población en las épocas invernales, como el Río Chimbo y el Río Bulu Bulu.

Las bajas elevaciones que componen su topografía e incluyendo los problemas de escaso manejo hidráulico y supervisión de la actividad del hombre sobre el curso de esteros y canales, ha ocasionado que las obras de control de inundaciones localizadas cerca del cantón no solucionen completamente el problema de las inundaciones, como se pudo experimentar más recientemente en el invierno del año 2017.

4.3. Aspectos socioeconómicos

4.3.1. Tasa de crecimiento demográfico

La población del cantón San Jacinto de Yaguachi presenta a lo largo del tiempo una dinámica marcada en cuanto al incremento y la disminución del número de habitantes del cantón, como se puede observar a partir de los datos históricos de censos

anteriores en los que se muestran que la población creció hasta la década de los 80's, que es cuando se presentó una disminución abrupta en el número de habitantes que puede haber sido provocada por varios aspectos ya sean estos fenómenos naturales, económicos, sociales, políticos, etc.

Luego de haber experimentado una tasa de crecimiento negativa de 10.38% entre los censos de 1982 y 1990, se observa que la población se empezó a recuperar entre los censos de 1990 y 2001 donde se presentó una tasa de crecimiento positiva de 1.74% y, por último, entre los censos de 2001 y 2010 la tasa de crecimiento se incrementó en 1% dando un valor de 2.74%, continuando así con la recuperación de la población.

Sin embargo, el número de habitantes reportados por el INEC en el censo del 2010 de 60.958 habitantes está muy por debajo aún del valor máximo de habitantes de 90.192 habitantes, reportado en el censo de 1982.

En el grafico a continuación se muestra los datos de población publicados en los censos y se ilustra el comportamiento de la población mediante la tasa de crecimiento intercensal, la cual

representa el promedio porcentual del cambio en el número de habitantes por superávit (o déficit) de nacimientos y muertes, y el balance de migrantes que entran y salen del cantón.

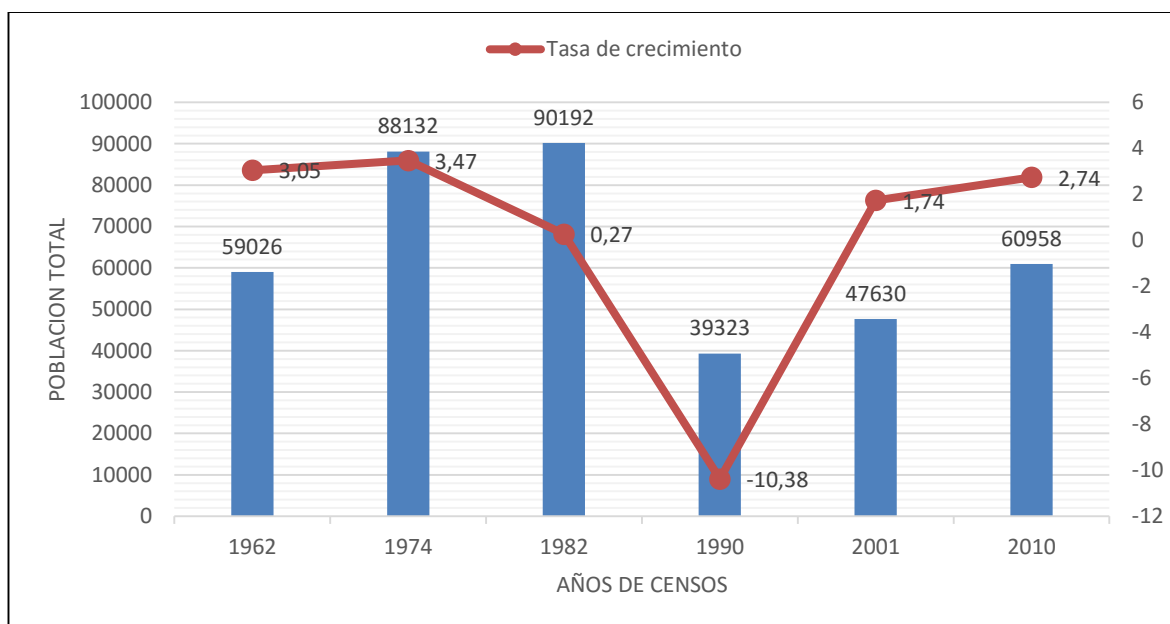


Figura 4.3 Tasa de crecimiento del cantón Yaguachi
Fuente: INEC, 2010.

4.3.2. Densidad poblacional

El cantón San Jacinto de Yaguachi constituye el área de influencia directa por los resultados del presente proyecto, se conoce que el cantón tiene 512,56 km² en toda su extensión; ya que la población que será favorecida se encuentra dentro de esa extensión de terreno.

De acuerdo con los datos citados anteriormente se conoce que el cantón San Jacinto de Yaguachi está conformado por 60.958 habitantes, por lo que la densidad poblacional del cantón es de 118,93 habitantes por km².

4.3.3. Población por grupo étnico

La población del cantón San Jacinto de Yaguachi durante el censo del 2010, se identificó en su mayoría como mestizos/as representando el 60.84% de la población de todo el cantón, le sigue con una diferencia de 32% quienes se identificaron como montubios/as que conforman el 28.14% de la población.

Tabla LXXIV. Clasificación de la población por grupo étnico.

Grupo étnico	Número de habitantes	Porcentaje
Indígena	140	0.23%
Afroecuatoriano/Afrodescendiente	2646	4.34%
Negro/a	352	0.58%
Mulato/a	822	1.35%
Montubio/a	17153	28.14%
Mestizo/a	37087	60.84%
Blanco/a	2611	4.28%
Otro/a	147	0.24%
Total	60958	100%

Fuente: INEC, 2010.

Luego se encuentran quienes se identificaron con otros grupos étnicos que conforman una pequeña parte de la población y en

total representan el 11.02% de la población distribuido según se puede ver en la Tabla LXXIV.

En el grafico pastel de la Figura 4.4 se puede identificar de mejor manera la distribución de la población según el grupo étnico que el que se identificaron, y como los grupos mayoritarios son los que se identificaron como Montubios/as y Mestizos/as.

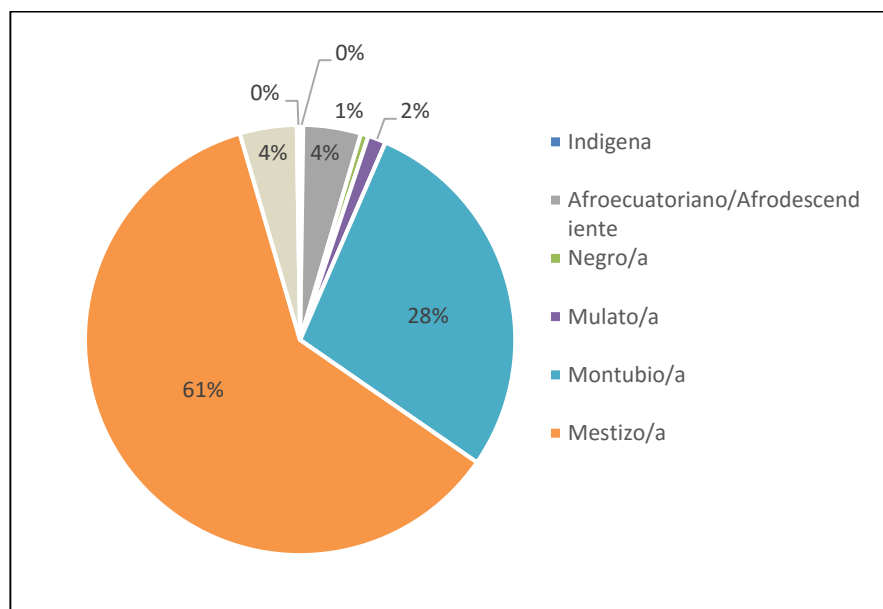


Figura 4.4 Distribución de la población según el grupo étnico
Fuente: INEC, 2010.

4.3.4. Población según el sexo

El censo realizado en el 2010 permitió identificar que en el cantón San Jacinto de Yaguachi por una diferencia del 2.58% habitan más hombres que mujeres, ya que los resultados publicados por

el INEC indican que en el cantón hay 31.264 hombres (51.29%) y 29.694 mujeres (48.71%).

4.3.5. Población según la edad

La población del cantón está conformada principalmente por 6988 menores de entre 5 a 9 años, a partir de los cuales el número de habitantes de los diferentes grupos de edades disminuye según se incrementa la edad de la categoría analizada. La Figura 4.6 muestra la pirámide poblacional según los grupos de edades conformados para el análisis.

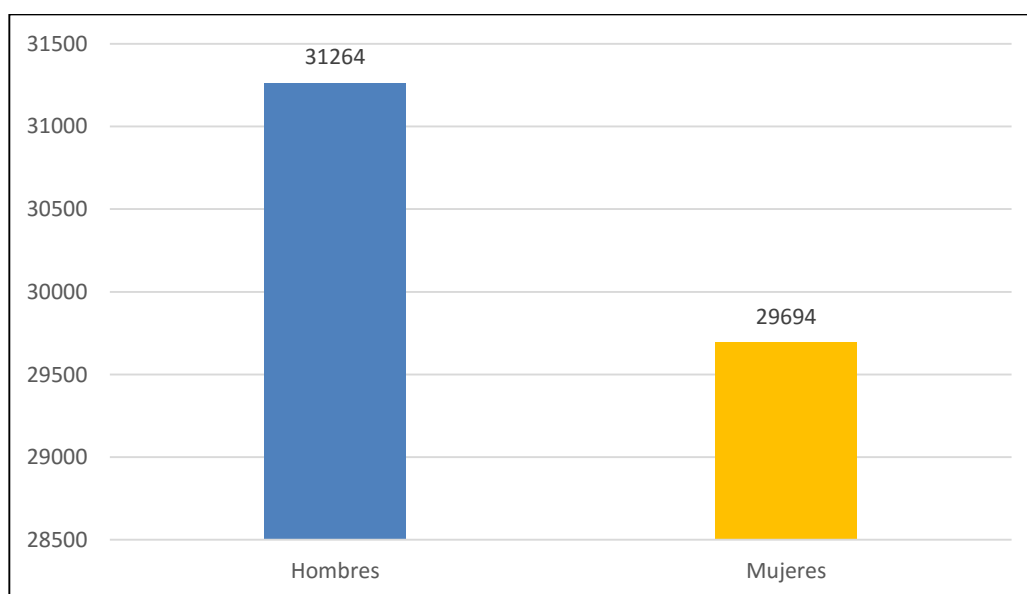


Figura 4.5 Número de habitantes por sexo
Fuente: INEC, 2010.

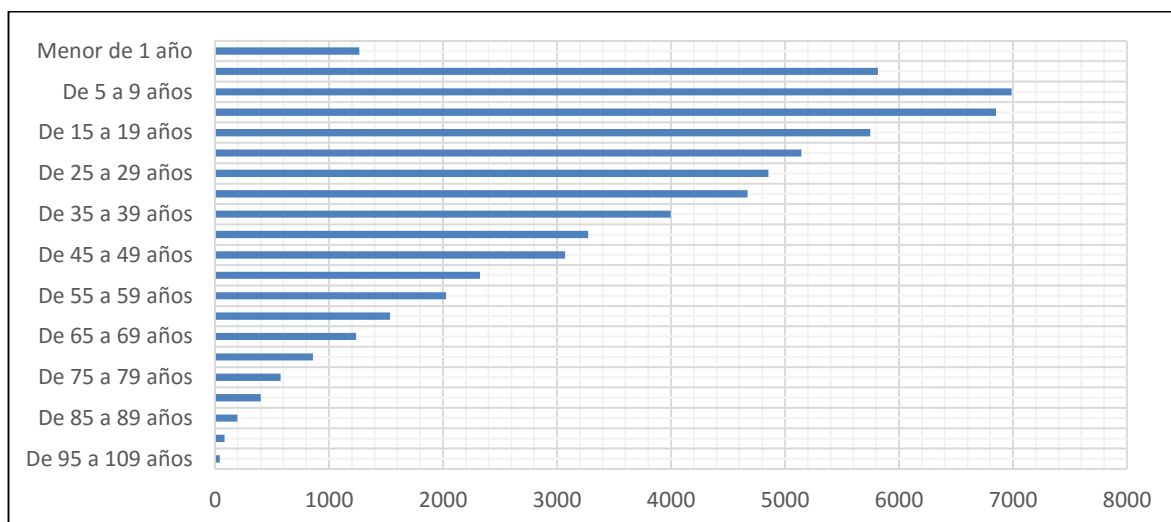


Figura 4.6 Población por edad

Fuente: INEC, 2010.

4.3.6. Población según el nivel de instrucción académico

En el censo del 2010 se preguntó acerca del nivel de instrucción de la población del cantón, y se pudo conocer que el 39.56% de la población solo tiene hasta un nivel primario de instrucción, siendo el nivel de instrucción con el que mayor parte de la población cuenta.

Mientras que solo el 7.54% de la población cuenta con una instrucción de tercer o cuarto nivel lo que demuestra que el cantón posee una pequeña cantidad de profesionales. También se evidenció que el 6.25% de la población del cantón no posee instrucción alguna lo que indica que para el 2010 aún existía cierto nivel de analfabetismo en el cantón.

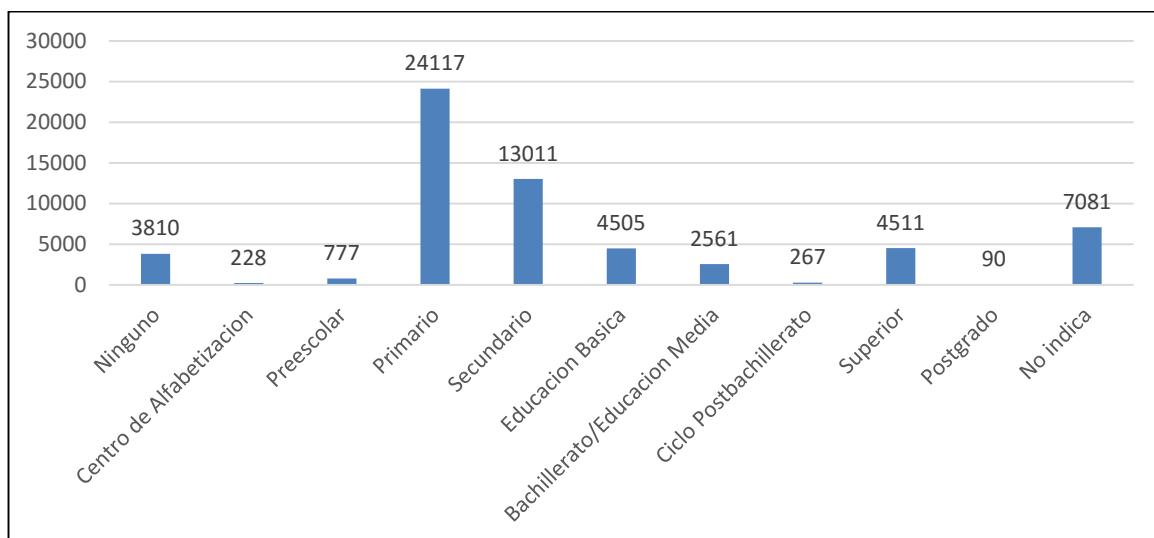


Figura 4.7 Población según el nivel de instrucción académica
Fuente: INEC, 2010.

4.3.7. Procedencia de energía eléctrica de la vivienda

Los habitantes del cantón; durante el censo de población y vivienda del 2010, indicaron en su mayoría (14.149 viviendas) que la habitación recibe el servicio de energía eléctrica mediante la red de la empresa eléctrica del servicio público. También se tiene que 27 viviendas se abastecen por medio de paneles solares y 32 viviendas hacen uso de generador para abastecerse de energía eléctrica.

Por el contrario, se evidenció que no toda la población se sirve aun del servicio de energía eléctrica y en 1.286 viviendas los habitantes manifestaron no contar con el servicio.

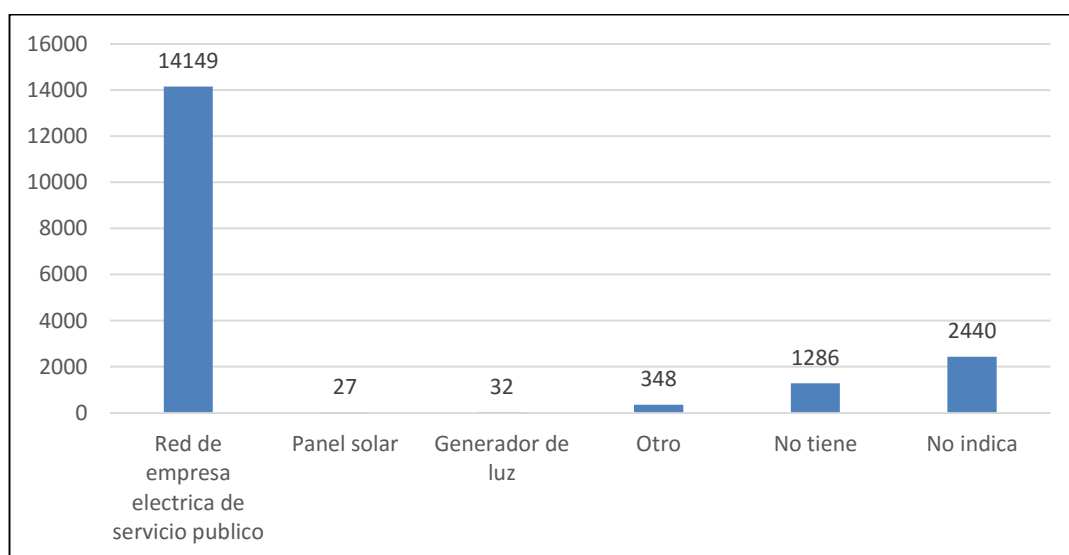


Figura 4.8 Procedencia de la energía eléctrica
Fuente: INEC, 2010.

4.3.8. Método de eliminación de la basura

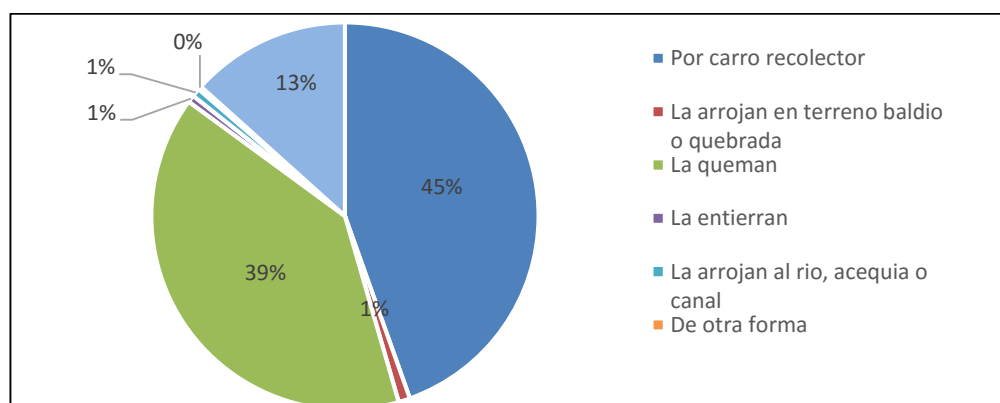
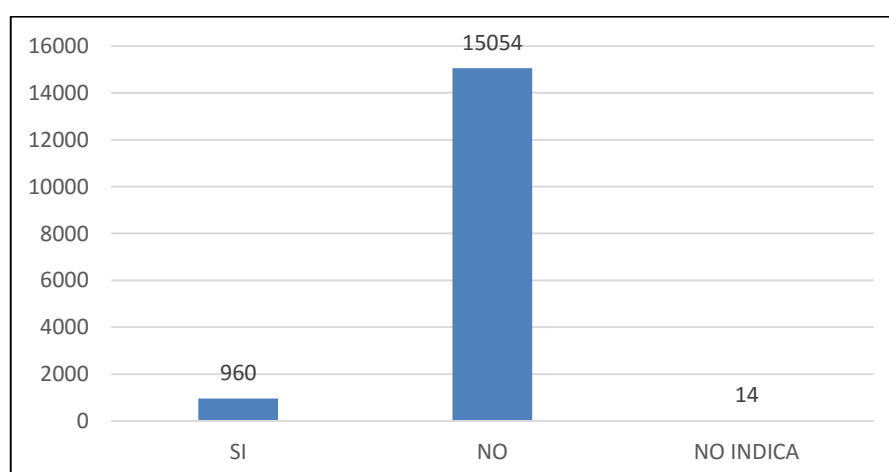
De los resultados publicados en el censo nacional de población y vivienda se conoce que el para el 2010 solo el 45% de la población disponía de los desechos sólidos por medio de carro recolector mientras que el 55% restante la quemaba, la arrojaba a cielo abierto en terrenos baldíos, la enterraba o la arrojaba al río u otra forma inadecuada de disposición de los desechos sólidos. Ver Tabla LXXV.

4.3.9. Disponibilidad de teléfono convencional

Los habitantes de 15.054 viviendas manifestaron no contar con el servicio de teléfono convencional y solo 960 viviendas cuentan con el servicio. Ver Figura 4.10

Tabla LXXV. Método de eliminación de la basura

Elimina la basura	Cantidad de viviendas	Porcentaje
Por carro recolector	8146	44.56%
La arrojan en terreno baldío o quebrada	176	0.96%
La queman	7228	39.54%
La entierran	111	0.61%
La arrojan al río, acequia o canal	129	0.71%
De otra forma	52	0.28%
No indica	2440	13.35%
Total de Viviendas censadas	18282	100%

Fuente: INEC, 2010.**Figura 4.9** Método de eliminación de la basura**Fuente:** INEC, 2010.**Figura 4.10** Número de viviendas con servicio telefónico**Fuente:** INEC, 2010.

4.3.10. Disponibilidad de computadora en el hogar

También se pudo constatar que el número de viviendas en las que poseen un equipo tecnológico que cada día se vuelve más esencial para desarrollar las actividades cotidianas es bajo, como se muestra en la Figura 4.11.

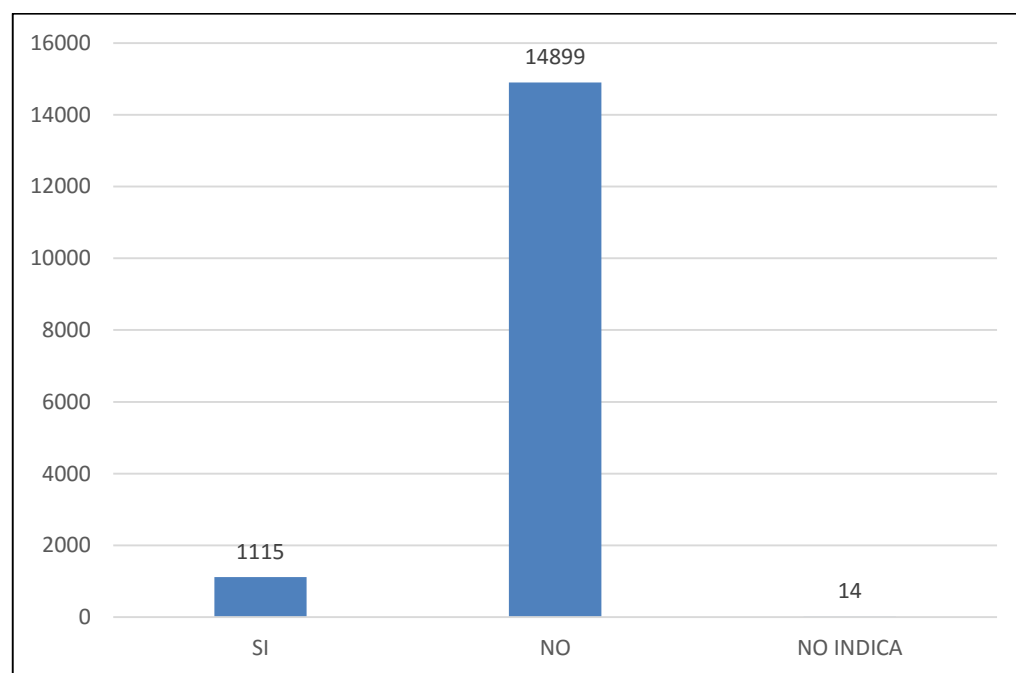


Figura 4.11 Número de viviendas con computadora

Fuente: INEC, 2010.

4.3.11. Disponibilidad de servicio de internet

Para este caso la situación es similar a los dos análisis previamente realizados, el número de viviendas con acceso a internet en el cantón es de 578 viviendas que representan el 3.6% del número de viviendas del cantón mientras que 15.436 viviendas no cuentan con el servicio.

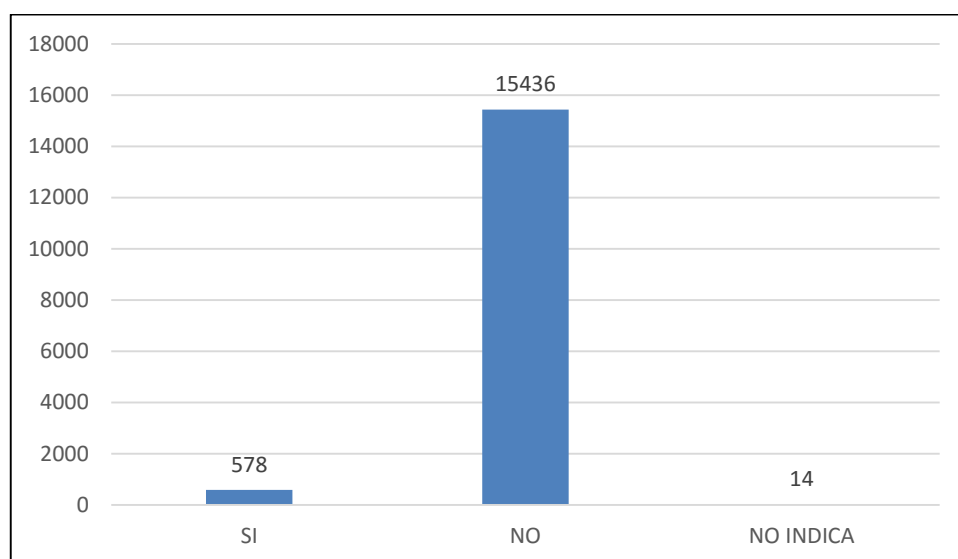


Figura 4.12 Número de viviendas con acceso a servicio de internet

Fuente: INEC, 2010.

CAPÍTULO 5

TRABAJO DE CAMPO

5.1. Levantamiento topográfico

Dentro de las actividades de campo planificadas para el desarrollo del proyecto consta el levantamiento topográfico del área de estudio que se realizó mediante el uso de equipo GNSS para la ubicación de puntos georeferenciados en el área del proyecto, también se empleó un dron para el levantamiento topográfico y la obtención de una ortofoto del área donde se desarrollará el proyecto.

Las actividades de levantamiento y procesamiento de la información se realizaron bajo el sistema de referencia WGS84 en coordenadas proyectadas UTM.



Figura 5.1 Equipo GNSS
Fuente: Rodriguez, O., Condooy, A., 2017.

Para el levantamiento topográfico se hizo uso de equipos GNSS que constan de una base móvil y una base fija que se comunican en tiempo real entre sí y con los satélites que se encuentren dentro del alcance orbitando la Tierra. La base móvil se colocó en un punto conocido determinado por el IGM que se encuentra ubicado a aproximadamente 14 kilómetros de distancia lineal, dentro del terreno del Pozo Sur que conforma la red de agua potable del cantón Milagro.

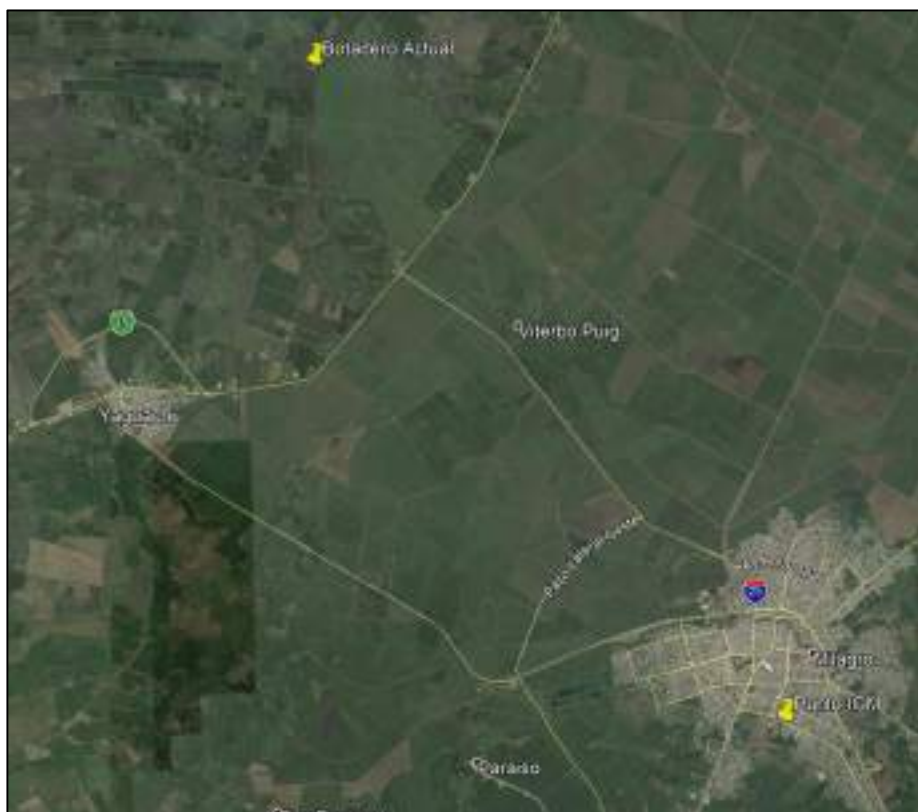


Figura 5.2 Ubicación del punto IGM para el levantamiento
Fuente: Google Earth, 2018.



Figura 5.3 Placa del punto IGM
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

La monografía del punto definido por el IGM se encuentra en los anexos.

Al interior del área del proyecto se establecieron 3 puntos de control para realizar la georreferenciación del levantamiento realizado con el dron. Los puntos de control ubicados en el área del proyecto se determinaron mediante la ubicación de la base móvil durante un periodo de 45 minutos en cada punto, para garantizar un lapso adecuado para la recopilación de información de posicionamiento de cada punto.

Tabla LXXVI. Coordenadas de los puntos de control

Nombre	Norte	Este
Punto 1	9774054.852	648477.534
Punto 2	9774201.882	648235.870
Punto 3	9774138.115	648205.948

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.



Figura 5.4 Ubicación de los puntos dentro del terreno

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.



Figura 5.5 Punto 1

Fuente: Rodriguez, O., Conday, A., 2017.



Figura 5.6 Punto 2

Fuente: Rodriguez, O., Conday, A., 2017.



Figura 5.7 Punto 3

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Posterior a los trabajos de campo se procesó la información recopilada por el dron para obtener la ortofoto del área del proyecto, la nube de puntos, y las curvas de nivel, una vez que la información del dron y el equipo GNSS se hubiera enlazado. A partir del procesamiento de la información almacenada en los equipos se pudo determinar que el orden de las elevaciones del terreno natural se encuentra entre 2 y 4 m.s.n.m.



Figura 5.8 Levantamiento con drone
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Debido a que el terreno natural es plano las curvas de nivel se generaron en intervalos de 25 centímetros con curvas principales a cada metro para tener mejor apreciación de la topografía del área del proyecto. Ver Figura 5.9.

5.2. Ensayos de Suelos

Para la realización de los ensayos del presente proyecto se extrajeron muestras alteradas e inalteradas del sitio donde se procederá a diseñar el relleno sanitario para su posterior estudio.

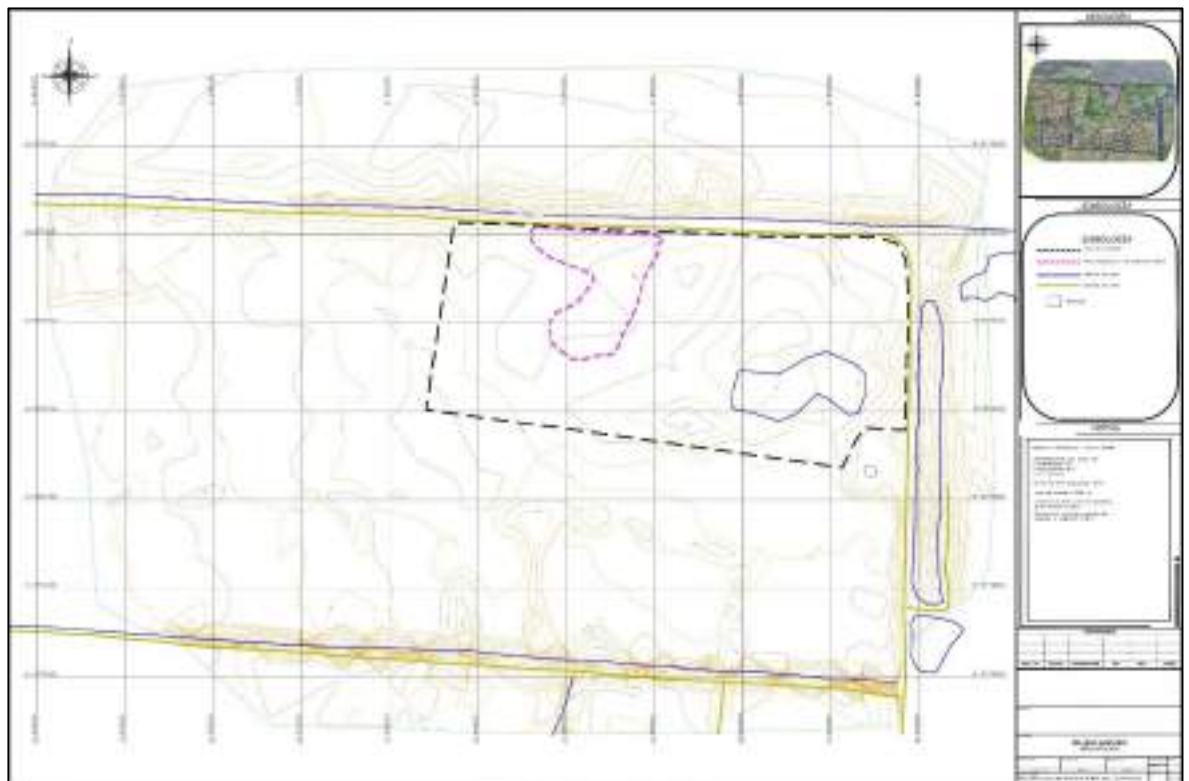


Figura 5.9 Plano topográfico
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Primero se hicieron tres calicatas en puntos diferentes, como se puede observar a continuación. En todas ellas hay la presencia de 3 estratos diferentes los cuales serán descritos a continuación:



Figura 5.10 Calicata 1

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.



Figura 5.11 Calicata 2

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.



Figura 5.12 Calicata 3

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Calicata 1 de dos metros de profundidad:

Tabla LXXVII. Estratigrafía de la calicata 1

Estrato	Profundidad [m]		Color
1	0	0,65	Negro
2	0,65	1,45	Amarillo y verde
3	1,45	2	Café oscuro

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

El nivel freático de esta calicata está a 2 m de profundidad.

Calicata 2 de 2.20 m de profundidad:

Tabla LXXVIII. Estratigrafía de la calicata 2			
Estrato	Profundidad [m]		Color
1	0	0,4	Negro
2	0,4	1,3	Amarillo y verde
3	1,3	2,2	Café oscuro
Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.			

El nivel freático está a 2.20 m de profundidad de la calicata.

Calicata 3 es de 2.50 m de profundidad:

Tabla LXXIX. Estratigrafía de la calicata 3			
Estrato	Profundidad [m]		Color
1	0	1,2	Negro
2	1,2	1,6	Amarillo y verde
3	1,6	2,5	Café oscuro
Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.			

El nivel freático está a 2.50 m.

Como se puede apreciar los tres estratos son parecidos, por lo que para realizar los ensayos se seleccionó las muestras alteradas extraídas de la calicata número 1. A partir de las muestras antes mencionadas, se les realizó los siguientes ensayos: Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg.

A su vez se utilizaron tubos Shelby para extraer muestras inalteradas, las que sirvieron para realizar los ensayos de consolidación y compresión simple. También se realizó un ensayo in situ de permeabilidad, utilizando un infiltrómetro.

Además, se tomó muestras del material del río para analizarlo y determinar si es útil para la construcción del terraplén del relleno sanitario.

5.2.1. Ensayos IN SITU

5.2.1.1. Permeabilidad

Se realizó el ensayo de permeabilidad in situ mediante el uso del infiltrómetro de doble anillo y tomando las lecturas correspondientes (Anexo).

Como resultados de las mediciones, se tiene que la permeabilidad del suelo es de 0.00000833 cm/s.

5.2.2. Ensayos de Laboratorio

5.2.2.1. Contenido de Humedad

Utilizando las muestras alteradas extraídas de la calicata 1, se realizó el ensayo de contenido de los tres estratos seleccionados.

A continuación, se analizarán los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio.



Figura 5.13 Ensayo de permeabilidad in situ

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Estrato 1:

Tabla LXXX. Determinación del contenido de humedad del estrato 1

MUESTRA	1	2
Profundidad [m]	0,65	0,65
Recipiente	47	29
Recipiente + P. Húmedo	211,98	192,52
Recipiente + Peso Seco	173,17	156,19
Peso de agua [g]	38,81	36,33
Peso de recipiente [g]	70,39	67,48
Peso Seco [g]	102,78	88,71
Contenido de agua [g]	38%	41%
Promedio	39%	

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

De la primera capa el porcentaje de humedad es 39% como se observa en la tabla.

Estrato 2:

Tabla LXXXI. Determinación del contenido de humedad del estrato 2

Muestra	3	4
Profundidad [m]	1,45	1,45
Recipiente	58	26
Recipiente + P. Húmedo	187,75	185,22
Recipiente + Peso Seco	143,42	141,7
Peso de agua [g]	44,33	43,52
Peso de recipiente [g]	70,1	70,36
Peso Seco [g]	73,32	71,34
Contenido de agua [g]	60%	61%
Promedio	61%	

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El contenido de humedad de la segunda capa es de 61%, como se observa en la tabla.

Estrato 3:

Tabla LXXXII. Determinación del contenido de humedad del estrato 3

MUESTRA	5	6
Profundidad [m]	2	2
Recipiente	31	11
Recipiente + P. Húmedo	189,97	198,15
Recipiente + Peso Seco	140,4	141,82
Peso de agua [g]	49,57	56,33
Peso de recipiente [g]	70,96	67,08
Peso Seco [g]	69,44	74,74
Contenido de agua [g]	71%	75%
Promedio	73%	

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Del tercer estrato su contenido de humedad es de 73%, como se observa en la tabla.

Muestra del río:

Tabla LXXXIII. Determinación del contenido de humedad de la muestra del río

MUESTRA	7	8
Profundidad [m]		
Recipiente	30	22
Recipiente + P. Húmedo	202,76	205,38
Recipiente + Peso Seco	177,22	177,15
Peso de agua [g]	25,54	28,23
Peso de recipiente [g]	68,47	71,02
Peso Seco [g]	108,75	106,13
Contenido de agua [g]	23%	27%
Promedio	25%	

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El contenido de humedad de esta muestra de río es de 25%, como se observa en la tabla.

5.2.2.2. Granulometría

Se realizó una granulometría por lavado (Norma ASTM C117) para cada una de las capas de suelo, debido a la gran cantidad de finos que estaban presentes en la muestra.

De acuerdo con los resultados y la interpretación de los datos obtenidos en las mediciones realizadas en campo:

- Capa 1

Tabla LXXXIV. Granulometría del estrato 1

# Tamiz	Abertura [mm]	Peso parcial [g]	%Retenido [g]	%Retenido acumulado	% Pasante acumulado
No. 10	2	0,02	0,02	0,57	99,43
No. 40	0,425	0,68	0,55	1,12	98,88
No. 200	0,075	3,19	2,58	3,70	96,30
Fondo		119,74	96,85	100,55	0,00
Total		123,63	100,00		

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

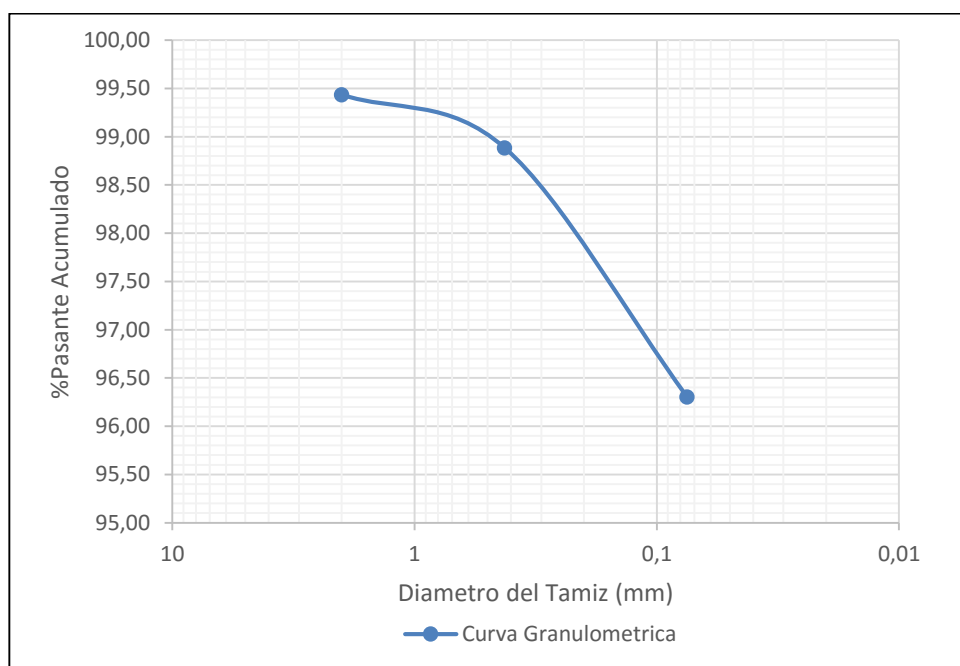


Figura 5.14 Curva granulométrica del estrato 1

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El porcentaje del pasante acumulado del tamiz No. 200 es del 96.30% por lo que de acuerdo con la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) es un Suelo Fino.

- Capa 2

Tabla LXXXV. Granulometría del estrato 2

# Tamiz	Abertura [mm]	Peso parcial [g]	%Retenido [g]	%Retenido acumulado	% Pasante acumulado
No. 10	2	0,63	0,44	0,44	99,56
No. 40	0,425	7,38	5,10	5,53	94,47
No. 200	0,075	4,53	3,13	8,66	91,34
Fondo		132,22	91,34	100,00	0,00
Total		144,76	100,00		

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

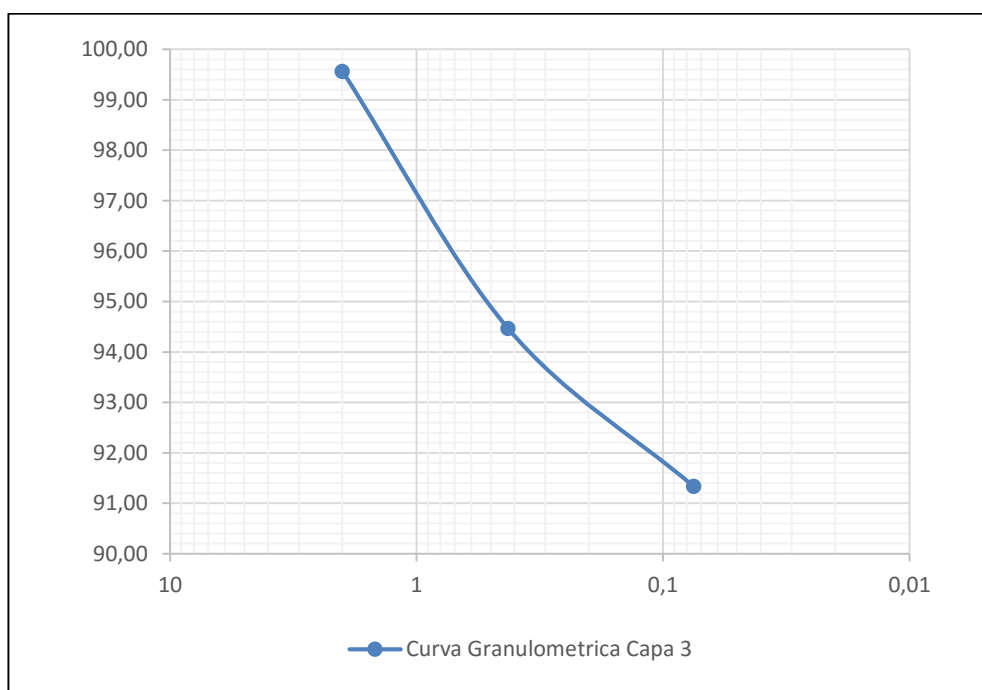


Figura 5.15 Curva granulométrica del estrato 2

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El porcentaje del pasante acumulado del tamiz No. 200 es del 91.34%, como se observa en la tabla, por lo que de acuerdo a la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) es un Suelo Fino.

- Capa 3

Tabla LXXXVI. Granulometría del estrato 3

# Tamiz	Abertura [mm]	Peso parcial [g]	%Retenido [g]	%Retenido acumulado	% Pasante acumulado
No. 10	2	4,34	3,19	3,19	96,81
No. 40	0,425	2,23	1,64	4,83	95,17
No. 200	0,075	3,34	2,46	7,29	92,71
Fondo		126,05	92,71	100,00	0,00
Total		135,96	100,00		

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017

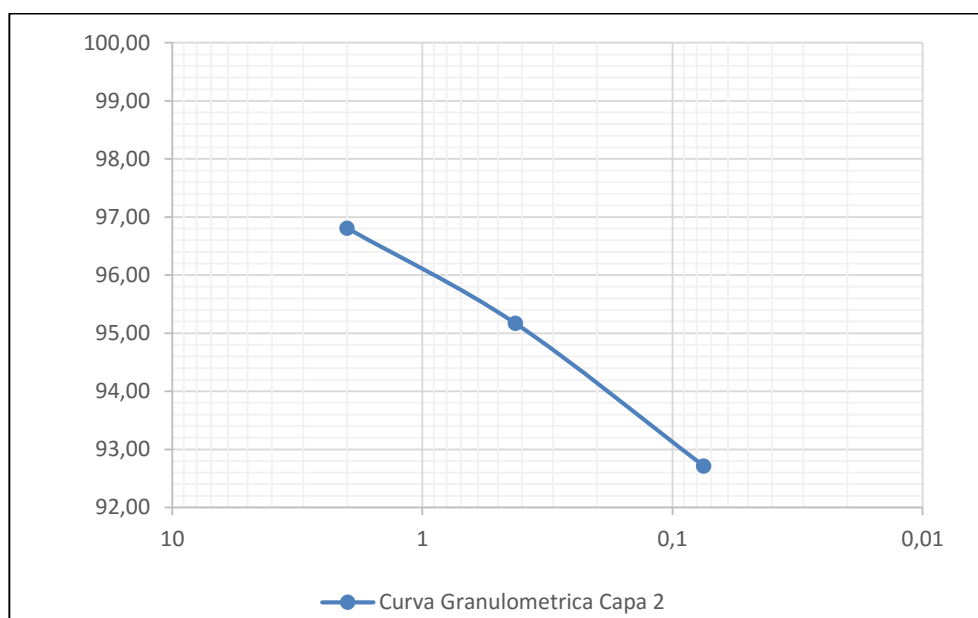


Figura 5.16 Curva granulométrica del estrato 3

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

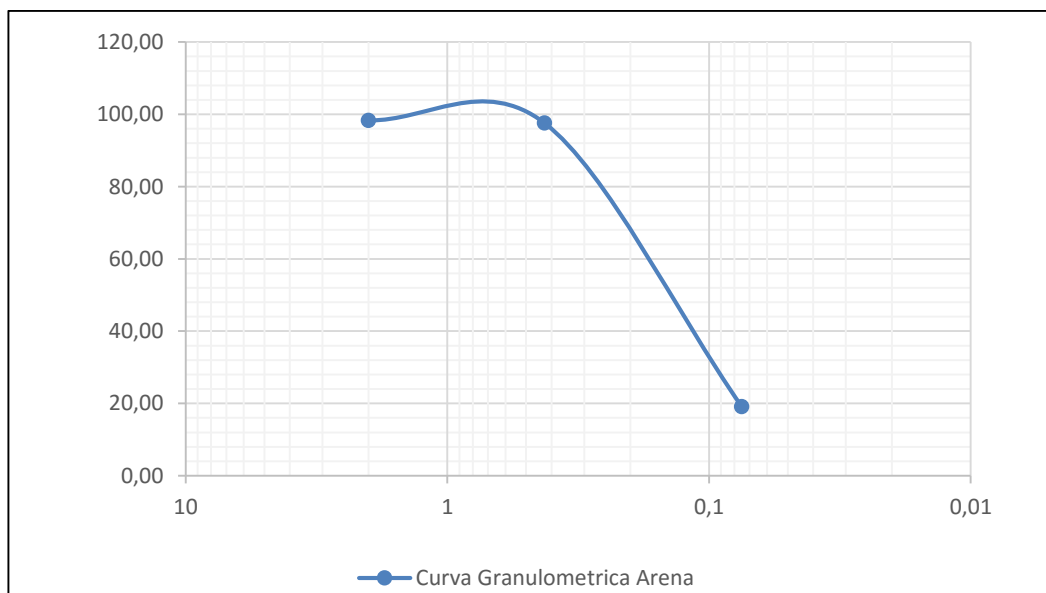
El porcentaje del pasante acumulado del tamiz No. 200 es del 92.71%, como se observa en la tabla, por lo que de acuerdo con la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) es un Suelo Fino.

Arena

Tabla LXXXVII. Granulometría de la muestra del río

# Tamiz	Abertura [mm]	Peso parcial [g]	%Retenido [g]	%Retenido acumulado	% Pasante acumulado
No. 10	2	2,11	1,66	1,66	98,34
No. 40	0,425	0,94	0,74	2,39	97,61
No. 200	0,075	99,9	78,44	80,83	19,17
Fondo		24,41	19,17	100,00	0,00
Total		127,36	100,00		

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

**Figura 5.17** Curva granulométrica de la arena del río Yaguachi

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El porcentaje del pasante acumulado del tamiz No. 200 es del 19.17%, como se observa en la tabla, por lo que de acuerdo a la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) es un Suelo Grueso.

5.2.2.3. Límites de Atterberg

CAPA 1

Límite Líquido

Tabla LXXXVIII. Determinacion del límite líquido del estrato 1

No. Ensayo	1	2	3	4
No. Recipiente	1	2	3	4
Wh+r	20,27	19,28	17,49	19,22
Ws+r	14,27	13,67	12,72	13,75
R	6,34	6,17	6,18	6,3
Ww	6,00	5,61	4,77	5,47
Ws	7,93	7,5	6,54	7,45
w%	76%	75%	73%	73%
No. Golpes	13	17	35	24
Log(No. Golpes)	1,114	1,230	1,544	1,380

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Para determinar el límite líquido del suelo se usó el método de la copa de Casagrande (ASTM D-4318) el cual se define como el contenido de agua al cual se cierra la ranura a los 25 golpes.

Como se observa en la tabla el contenido de humedad (w%) y el número de golpes fueron registrados, luego se calculó Log (No.Golpes). seguido se realizó una interpolación de datos para obtener el contenido de humedad a los 25 goles (como se muestra en la tabla).

Tabla LXXXIX. Registro del logaritmo del número de golpes y contenido de humedad

Log(No. Golpes)	w%
1,114	76%
1,230	75%
1,544	73%
1,380	73%
1,398	73%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

De acuerdo a la tabla el contenido de humedad a los 25 golpes ($\text{Log}(25)=1.398$) es de 73%.

Para obtener el límite líquido se utilizó la norma ASTM D-4318 que indica en formar un rollito de 3.18mm el cual se agrieta debido al poco contenido de agua.

Tabla XC. Determinación del límite plástico del estrato 1

No. Ensayo	1	2
No. Recipiente	6	7
Wh+r	7,15	7,36
Ws+r	6,91	7,06
r	6,07	6,2
Ww	0,24	0,3
Ws	0,84	0,86
w%	29%	35%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El valor del límite líquido (LL) se obtuvo realizando el promedio de los valores de humedad obtenidos en los ensayos del laboratorio,

lo cual dio un resultado de LL=73% y el límite plástico (LP) es 32%.

El índice de plasticidad (IP) es de 42% el cual corresponde a la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. Además, utilizando la carta de plasticidad se determinó que es una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla XCI. Límites de Atterberg e IP del estrato 1

Índice	Porcentaje
LL%	73%
LP%	32%
IP	42%

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

CAPA 2

Límite Líquido

Tabla XCII. Determinación del límite líquido del estrato 2

No. Ensayo	1	2	3	4
No. Recipiente	19	13	21	85
Wh+r	18,44	19,57	22,95	28,57
Ws+r	12,23	13,33	14,85	20,14
R	5,79	6,18	6,16	11,62
Ww	6,21	6,24	8,10	8,43
Ws	6,44	7,15	8,69	8,52
w%	96%	87%	93%	99%
No. Golpes	20	35	21	15
Log(No. Golpes)	1,301	1,544	1,322	1,176

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Para determinar el límite líquido del suelo se usó el método de la copa de Casagrande (ASTM D-4318) el cual se define como el contenido de agua al cual se cierra la ranura a los 25 golpes.

Como se observa en la tabla el contenido de humedad (w%) y el número de golpes fueron registrados, luego se calculó $\text{Log}(\text{No. Golpes})$. seguido se realizó una interpolación de datos para obtener el contenido de humedad a los 25 goles (como se muestra en la tabla).

Tabla XCIII. Registro del logaritmo del número de golpes y el contenido de humedad

Log(No. Golpes)	w%
1,301	96%
1,544	87%
1,322	93%
1,176	99%
1,398	91%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

De acuerdo a la tabla el contenido de humedad a los 25 golpes ($\text{Log}(25)=1.398$) es de 91%.

Para obtener el límite líquido se utilizó la norma ASTM D-4318 que indica en formar un rollito de 3.18mm el cual se agrieta debido al poco contenido de agua.

Tabla XCIV. Determinación del límite plástico del estrato 2

No. Ensayo	1	2
No. Recipiente	77	20
Wh+r	7,27	10,97
Ws+r	7,03	10,84
R	6,14	10,35
Ww	0,24	0,13
Ws	0,89	0,49
w%	27%	27%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El valor del límite líquido (LL) se obtuvo realizando el promedio de los valores de humedad obtenidos en los ensayos del laboratorio, lo cual dio un resultado de LL=91% y el límite plástico (LP) es 27%.

El índice de plasticidad (IP) es de 64% el cual corresponde a la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. Además, utilizando la carta de plasticidad se determinó que es una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla XCV. Límites de Atterberg e IP del estrato 2

Índice	Porcentaje
LL%	91%
LP%	27%
IP	64%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

CAPA 3

Límite Líquido

Tabla XCVI. Determinación del límite líquido del estrato 3

No. Ensayo	1	2	3	4
No. Recipiente	77	117	11	66
Wh+r	18,76	23,73	23,39	17,6
Ws+r	12,74	15,38	14,74	12,25
R	6,15	6,15	5,95	6,38
Ww	6,02	8,35	8,65	5,35
Ws	6,59	9,23	8,79	5,87
w%	91%	90%	98%	91%
No. Golpes	26	24	12	36
Log(No. Golpes)	1,415	1,380	1,079	1,556

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Para determinar el límite líquido del suelo se usó el método de la copa de Casagrande (ASTM D-4318) el cual se define como el contenido de agua al cual se cierra la ranura a los 25 golpes.

Como se observa en la tabla el contenido de humedad (w%) y el número de golpes fueron registrados, luego se calculó Log (No.Golpes). seguido se realizó una interpolación de datos para obtener el contenido de humedad a los 25 goles (como se muestra en la tabla).

Tabla XCVII. Registro del logaritmo del número de golpes y el contenido de humedad

Log(No. Golpes)	w%
1,415	91%
1,380	90%
1,079	98%
1,556	91%
1,398	90%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

De acuerdo a la tabla el contenido de humedad a los 25 golpes ($\text{Log}(25)=1.398$) es de 90%.

Para obtener el límite líquido se utilizó la norma ASTM D-4318 que indica en formar un rollito de 3.18mm el cual se agrieta debido al poco contenido de agua.

Tabla XCVIII. Determinación del límite plástico del estrato 3

No. Ensayo	1	2
No. Recipiente	16	4
Wh+r	6,6	6,4
Ws+r	7,03	10,84
r	6,05	6,07
Ww	0,55	0,33
Ws	0,98	4,77
w%	56%	7%

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

El valor del límite líquido (LL) se obtuvo realizando el promedio de los valores de humedad obtenidos en los ensayos del laboratorio, lo cual dio un resultado de $\text{LL}=90\%$ y el límite plástico (LP) es 32% .

El índice de plasticidad (IP) es de 58% el cual corresponde a la diferencia entre el límite líquido y límite plástico. Además, utilizando la carta de plasticidad se determinó que es una arcilla de alta plasticidad (CH).

Tabla XCIX. Límites de Atterberg e IP del estrato 3

Índice	Porcentaje
LL%	90%
LP%	32%
IP	58%

Fuente: Rodriguez, O., Condooy, A., 2017.

5.2.2.4. Prueba de Compresión Simple

El ensayo de resistencia a la compresión simple se realiza aplicando un esfuerzo axial sobre la muestra para provocar la falla, entonces el esfuerzo axial que provoque dicha falla será la resistencia a la compresión simple (q_u).

Dicha resistencia antes mencionada significa la consistencia de la arcilla.

Se realizaron dos ensayos de compresión simple: el primero se realizó para la capa 1 (Muestra A) y la segunda prueba se le hizo a la capa 3 (Muestra B).

Muestra A

$$q_u = 58.5 \text{ KPa}$$



Figura 5.18 Núcleo ensayado de muestra A
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Muestra B

$$q_u = 34.5 \text{ KPa}$$



Figura 5.19 Núcleo ensayado de muestra B
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

5.2.2.5. Proctor

La prueba de Proctor estándar es un ensayo de laboratorio que se utiliza para obtener el peso específico seco máximo de compactación y el contenido óptimo de agua.

Los resultados que se obtuvieron mediante la siguiente grafica (ver figura) y fueron los siguientes:

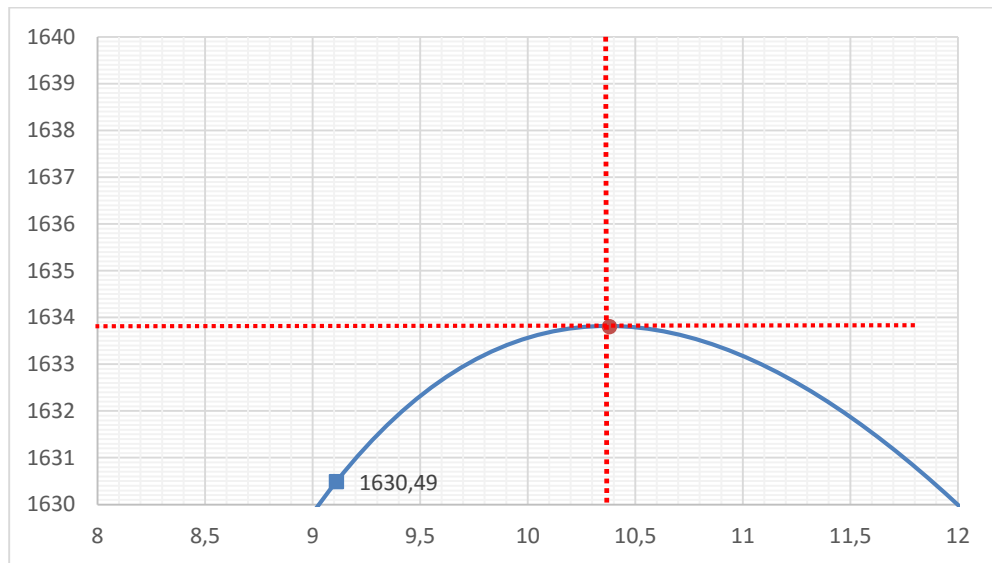


Figura 5.20 Curva del ensayo Proctor
Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Peso específico seco máximo de compactación: 1.63 KN/m^3

Contenido óptimo de agua: 10.38%

CAPÍTULO 6

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

6.1. Alternativa 1

La primera alternativa consiste en un diseño de relleno sanitario que plantea un periodo de 40 años, de toda la basura se reciclará el 30%, además la basura procedente de la materia orgánica se obtendrá un 30% de compostaje.

Contará con una planta recicladora, recuperación energética. Además, tendrá dos lagunas de lixiviados, de las cuales el material que se extraiga de la excavación para la construcción de dichas lagunas será utilizado como material de cobertura del relleno.

El área proyectada para la ocupación del relleno es de 15 hectáreas y la altura del cuerpo de basura será de 27.75 m.

Se construirá un terraplén para la elevación de la cota del terreno con el fin evitar las inundaciones en la temporada invernal, para la construcción de este se usa material extraído (arena) del río Yaguachi.

6.2. Alternativa 2

La alternativa dos propone un diseño de relleno sanitario para una vida útil de 20 años. El área que ocupará el cuerpo de basura será de 9 hectáreas y una altura de 17 m.

No contará con una planta recicladora, ni compostaje, tampoco tendrá recuperación energética usando el gas metano que se produce por la basura almacenada en el relleno, por ende, todos los desechos sólidos irán al relleno sanitario.

Para el tratamiento de los lixiviados se creará dos lagunas. El material de cobertura para el relleno se traerá de una cantera cercana.

El terraplén se construirá con arena del río Yaguachi, este terraplén servirá para elevar la cota del terreno y evitar inundaciones.

6.3. Alternativa 3

La alternativa número tres propone un relleno sanitario con un periodo de vida útil de 20 años, tiene como plan reciclar el 30% de la basura que ingresa al depósito, el otro 70% será destinado al relleno. La altura del relleno sanitario es de 17 m y ocupará un área de 9 hectáreas.

Como cobertura del relleno sanitario se utilizará material extraído de terrenos aledaños.

Constará con dos lagunas de lixiviados que serán construidas para el tratamiento de estos, además contará con una planta para la recuperación energética usando el gas metano producido por la basura almacenada en el relleno.

Con el fin de evitar inundaciones se construirá un terraplén el cual estará constituido de material (arena) del río Yaguachi.

6.4. Restricciones

A continuación, se plantea una tabla con varias restricciones y cada una de ellas tiene valores dados para poder evaluar las alternativas antes dadas. La calificación total esta sobre 10 puntos.

Los valores varían entre cero y dos; donde cero significa que no existe determinado elemento dentro del relleno sanitario y el número diferente de cero representa la presencia del elemento en el relleno sanitario.

La alternativa que tenga el mayor porcentaje será la seleccionada.

Tabla C. Restricciones para la evaluación de alternativas

Restricciones	Valores
Más años de vida útil	0 – 1
Menor área y altura	0 – 1
Planta de reciclaje	0 – 2
Compostaje	0 – 1
Recuperación energética	0 – 2

Control de inundaciones	0 – 1
Menor distancia de acarreo del material de cobertura	0 - 1
Lagunas de lixiviado	0 – 1

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

6.4.1. Alternativa 1

Tabla CI. Evaluación de la alternativa 1

Restricciones	Valores
Más años de vida útil	1
Menor área y altura	1
Planta de reciclaje	2
Compostaje	1
Recuperación energética	2
Control de inundaciones	1
Menor distancia de acarreo del material de cobertura	1
Lagunas de lixiviado	1

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

La suma total de esta tabla da como resultado 10 puntos. Esta alternativa tiene un periodo de vida útil muy alto, es factible en cuanto a protección del medio ambiente ya que tiene una planta recicladora, compostaje y recuperación energética.

En cuanto a los costos de acarreo de material para la construcción del terraplén y el material de cobertura del relleno sanitario es económico debido a que serán transportados de zonas cercanas como: arena del río Yaguachi para el terraplén y material de la excavación de las lagunas será usado para la cobertura del cuerpo de basura.

6.4.2. Alternativa 2

Tabla CII. Evaluación de la alternativa 2

Restricciones	Valores
Más años de vida útil	0
Menor área y altura	0
Planta de reciclaje	0
Compostaje	0
Recuperación energética	0
Control de inundaciones	1
Menor distancia de acarreo del material de cobertura	0
Lagunas de lixiviado	1

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

La alternativa tiene un resultado de 2 puntos. Esta opción es la menos amigable con el medio ambiente, ya que no cuenta con una planta recicladora, compostaje y recuperación energética.

La distancia de acarreo es mayor con respecto a la alternativa anterior ya que será transportado desde la cantera hasta el relleno sanitario, lo que provoca un incremento en el costo de la obra.

6.4.3. Alternativa 3

La alternativa numero 3 tiene un resultado de 4 puntos. Aunque cuente con un proceso de recuperación energética, no posee una

planta de reciclaje y compostaje, lo que la hace poco amigable con el medio ambiente.

Tabla CIII. Evaluación de la alternativa 3

Restricciones	Valores
Más años de vida útil	0
Menor área y altura	0
Planta de reciclaje	0
Compostaje	0
Recuperación energética	2
Control de inundaciones	1
Menor distancia de acarreo del material de cobertura	0
Lagunas de lixiviado	1

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Como otro punto en contra es que no cuenta con un tiempo de vida útil considerable con respecto a la alternativa número 1, de igual manera la distancia de acarreo del material de cobertura es lejana lo que implica un mayor costo del proyecto.

6.5. Alternativa seleccionada

Analizando los resultados de la evaluación de cada alternativa, se concluye que la opción más adecuada para construir es la primera alternativa planteada anteriormente.

Es de las opciones analizadas la más amigable con el medio ambiente ya que de la basura que llegue al relleno 30% de ella será reciclado, los

elementos que se reciclarán serán: papel, plástico y metal. Otro 30% procedente de los desechos de origen orgánico se hará compostaje y el 40% restante se enviará al relleno sanitario.

La distancia de acarreo del material de cobertura es mínima lo que abarata los costos de transporte.

6.6. Selección del sitio

De acuerdo con los parámetros propuestos en el capítulo 2 en la sección 2.11 selección de un relleno sanitario, se realizó la evaluación del sitio; el cual ha obtenido una calificación de 82,2 puntos lo que quiere decir según la Tabla CIV que el lugar tiene aptitud excelente para la ubicación del relleno sanitario.

Tabla CIV. Puntuación de la alternativa seleccionada según los criterios de evaluación del sitio

Criterios			Valores
Generales	Dimensiones del terreno	Superficie disponible para rellena	2,4
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares.	2,9
		Superficie disponible para la construcción de plantas auxiliares.	2,2
		Volumen disponible para re llenar	2,2
	Morfología del terreno	Topografía del terreno	2,2
		Barreras Naturales	1,8
	Posibilidad de extensión	Extensión de la superficie del terreno.	0,6
		Extensión de volumen de basura	0,8
	Propiedad (municipal o privada)	Propiedad actual	0,4
		Posibilidad de venta o expropiación	0
No existe conexión a electricidad y teléfono	Distancia a estructuras existentes	Barrios poblados	2
		Zonas protegidas	0,7
		Sitios de recreación	0,9
		Zonas sensibles de agricultura	0,6
		Zonas sensibles industriales	0,6
	Distancia al relleno sanitario	Distancia de vías de acceso	1,8
		Distancia a una infraestructura relacionada al manejo de desechos solidos	0
		Zonas Industriales	0,7
	Existencia de infraestructura necesaria para el relleno sanitario	Acceso a agua potable y alcantarillado	0,1
		Alcantarillado para aguas servidas y lixiviados	0,1
		Drenaje de aguas lluvias	0,1
		Estado de las vías de acceso	0,3
		Futuros cambios en las vías de acceso	0,1
		Conexión existente del sitio con las vías de acceso	0,4
		Electricidad y teléfono	0,1
Impacto Ambiental	Impacto de la operación del relleno sanitario	Impacto al paisaje	0,4
		Destrucción de la capa vegetal	0,7
		Destrucción de la fauna y flora	0,4

	Impacto después del cierre del relleno sanitario	Destrucción arqueológica	1,2
		Otros impactos estéticos	0,7
		Impacto al paisaje	0,4
		Destrucción de la capa vegetal	0,7
		Destrucción de la fauna y flora	0,4
		Destrucción arqueológica	1,2
Agua	Propiedades hidrológicas	Permeabilidad del suelo	10
		Cuencas hidrológicas alrededor del terreno del relleno	3
		Aguas superficiales cerca del sitio	2
		Nivel freático	2
		Drenaje de aguas superficiales	1
		Protección de inundaciones	0,2
	Otras aguas de tratamiento	Cantidad de lixiviado esperado	1,4
		Posibilidad de conectar el sitio con una planta de tratamiento	0,8
		Valores límites de descarga al medio receptor	1
Clima y emisiones	Dispersión de las emisiones a gran escala	Viento	4,4
		Frecuencia de neblina	0,4
		Frecuencia de inversiones atmosféricas	0,9
	Contaminación ambiental actual alrededor del sitio	Polvo y aerosoles	0,3
		SO ₂	0
		Olor	0,2
		Ruidos	2,3
		Ruidos agudos	0,5
	Dispersión de las emisiones a menor escala (dentro del sitio)	Viento	4,4
		Frecuencia de neblina	0,4
		Frecuencia de inversiones atmosféricas	0,9
	Contaminación ambiental actual del sitio	Polvo y aerosoles	0,4
		SO ₂	0
		Gas de escape	0,1
		Olor	0,5
		Ruidos constantes	1
	Capacidad natural para minimizar las emisiones	Producción de polvo durante la operación	0,7
		Producción de polvo en caso de accidente	0,4
		Ruido generado por la operación	0,6
		Ruido de tráfico en la vía de acceso	0,6

		Ruido de tráfico en las otras vías cercana	0,6
		Dispersión de materiales volátiles	0,3
Capacidad del terreno	Material de cobertura	Material para capa impermeable de fondo y de cobertura final	0,7
		Material para cobertura diaria	4,7
		Material para re-cultivación después del cierre	0,6
	Propiedades del suelo para excavación	Propiedades del suelo para excavación	0,5
		Superficie disponible	0,4
	Seguridad general	Condición del sitio en caso de catástrofe	Incendio
Explosiones			0,2
Deslizamiento de tierra			0,7
Terremoto			0,6
Accidentes de transporte			0,2
Actividad volcánica			0,7
Competencia del sitio respecto a los trabajos a realizarse luego del cierre del relleno		Asentamientos del terreno	0,5
		Drenaje y tratamiento de los lixiviados	0,4
		Drenaje de aguas superficiales	0,1
		Drenaje e incineración de gas	0,3
Suma Total			82.2

Fuente: Röben, E., 2002.

CAPÍTULO 7

DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO

7.1. Relleno sanitario

El complejo del relleno sanitario estará conformado por varios componentes básicos y esenciales que deben estar presente en este tipo de proyectos. El proyecto se implantará en un área de aproximadamente 13 ha. Al interior del complejo del relleno sanitario se ubicarán:

- Cuerpo de desechos con un área de 8.1 has
- Laguna de lixiviados con un área de 0.67 has
- Zona de producción de compost con un área de 1.92 has
- Galpón de almacenamiento de materiales reciclados de 0.15 has
- Planta de reciclaje de 0.1 has
- Caseta de control y batería sanitaria
- Balanza de vehículos
- Garita
- Cerramiento

7.1.1. Relleno con material del Río Chimbo

El área del proyecto se encuentra en una zona de alto riesgo de inundación, por lo que se ha considerado elevar el nivel del terreno empleando material del fondo del río Chimbo.

A partir del levantamiento de información histórica acerca de las inundaciones sufridas en la zona se ha visto necesario proyectar un terraplén de 1,50 metros de altura para garantizar la integridad del proyecto.

La solución planteada es de suma importancia ya que incrementa el cauce del Río Chimbo de manera que se evita la inundación de la ciudad en la época invernal. El material deberá ser compactado hasta alcanzar el 95% del Proctor.

El terraplén se construirá mediante la compactación de 5 capas de 30 cm de espesor, para obtener el grado de compactación adecuado que aporte la seguridad deseada al proyecto. El área por rellenar está conformada por el área destinada al cuerpo de residuos sólidos y a la zona de producción de compost, que conforman un área de 10 ha.

Para garantizar la seguridad del terraplén de relleno se ha seleccionado el Geotextil no tejido 160NT 3000, el geotextil será colocado en cada capa del terraplén, dejando un traslape de 2 metros. Dado que este geo sintético se comercializa en rollos con

dimensiones de 3.8m x 110m. Se ha realizado la estimación de la cantidad de rollos que serán necesarios.

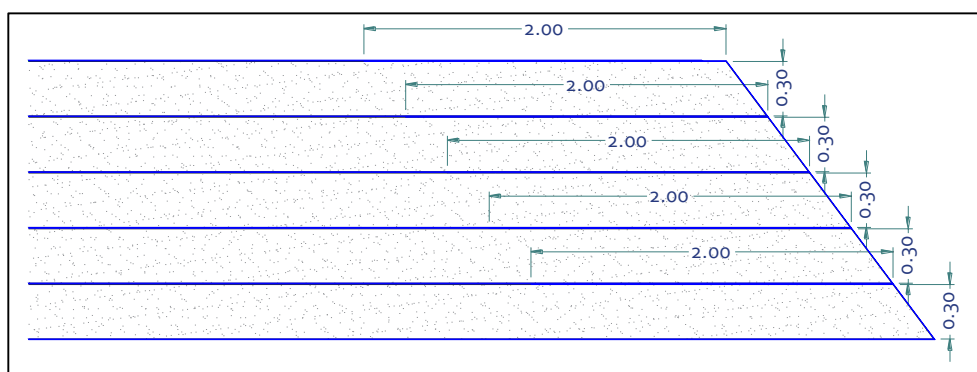


Figura 7.1 Detalle de construcción del terraplén

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Tabla CV. Estimación del número de rollos necesarios para el terraplén

Capa	Área	Numero de rollos
1	86800	208
2	86646.66	208
3	86493.47	207
4	86340.40	207
5	86187.48	207

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

7.2. Análisis de los desechos solidos

Con la finalidad de determinar la cantidad, composición, densidad suelta, humedad y demás datos técnicos de los desechos sólidos que se generan en el cantón, se solicitó al GAD Municipal del cantón San Jacinto de Yaguachi la información disponible correspondiente, de donde se pudo

conocer acerca del Estudio de análisis y clasificación de los desechos sólidos.

7.2.1. Determinación de la tasa de producción de residuos solidos

De la información proporcionada se pudo conocer que la tasa de producción de desechos sólidos del cantón es 0.59kg/hab/día. La cual en contraste con las tasas de producción estimadas que se indican en el Análisis Sectorial de Residuos Sólidos del 2002 para la región costa es un valor dentro de lo normal. Para llevar a cabo los cálculos pertinentes se utilizó el valor reportado en el informe otorgado por el municipio.

Tabla CVI. Tasas de producción de desechos per cápita

Región Costa	PPC (kg/hab/dia)
Esmeraldas	0.690
Portoviejo	0.250
Machala	0.585

Fuente: MAE, 2002.

7.2.2. Determinación de la composición de residuos solidos

Como se indicó en el capítulo 2, conocer la composición de los desechos sólidos que se van a verter en un relleno sanitario es de suma importancia. Usualmente la caracterización de los desechos

requiere de un análisis extensivo que consiste en definir el tamaño de la muestra que se va a analizar y el intervalo de tiempo en el que se va a desarrollar el trabajo de caracterización.

Debido a que el municipio cuenta con esta información disponible, se empleó en los cálculos del relleno sanitario para la estimación de gases y el lixiviado la composición determinada en el estudio de caracterización de los desechos generados en el cantón. A continuación, se muestra la composición proporcionada por el municipio.

Tabla CVII. Composición típica de los residuos sólidos generados en el cantón Yaguachi

Componente	Porcentaje
Orgánico Putrescible	62.38%
Residuos de jardín	0.62%
Papel	11.5%
Cartón	2.09%
Textiles	1%
Goma	0.5%
Vidrio	5.04%
Lata/Metal	2.97%
Cuero	0.3%
Madera	5%
Plástico	8.6%

Fuente: GAD Municipal de Yaguachi, 2017.

El componente orgánico putrescible es el más alto dentro de la caracterización de los residuos sólidos por lo que se espera que

la cantidad de gases y lixiviados producidos sea elevada. Otro aspecto para tener en cuenta durante la operación es el asentamiento del cuerpo de basura, ya que a mayor cantidad de orgánicos presente en los desechos sólidos se incrementa la ocurrencia de asentamientos que puedan amenazar la integridad estructural del cuerpo de basura.

El riesgo estructural debido a los asentamientos se puede prevenir fácilmente con la planificación adecuada de los trabajos durante la operación del relleno sanitario, asegurando que los equipos compactadores realicen varias pasadas a los desechos cuando se colocan en el frente de trabajo y antes de ser cubiertos diariamente.

7.2.3. Densidad

Del estudio de caracterización de los desechos sólidos del cantón, se tiene que la densidad suelta de los desperdicios generados en el cantón es la que se muestra en la tabla a continuación.

Tabla CVIII. Densidad de los desechos sólidos	
Densidad de los desechos sólidos (kg/m³)	
Cantón San Jacinto de Yaguachi	225.78

Fuente: GAD Municipal de Yaguachi, 2017.

7.3. Dimensionamiento de los componentes del relleno sanitario

7.3.1. Periodo de operación

Para el presente proyecto luego de evaluar las alternativas se ha decidido adoptar un periodo de diseño de 40 años, para el relleno sanitario.

7.3.1.1. Proyección de la población

Con los datos de población reportados por el INEC en el censo del 2010 se procedió a realizar la proyección de la población al año actual y para todos los años hasta el final del periodo de operación.

En el censo del 2010 se estimó que el cantón San Jacinto de Yaguachi tiene 60.958 habitantes. Se empleo la tasa de crecimiento de 2.74% reportada por el INEC.

Tabla CIX. Población y tasa de crecimiento del cantón Yaguachi

Localidad	Población	Tasa de Crecimiento
San Jacinto de Yaguachi	60.958	2.74%

Fuente: INEC, 2010.

Para la proyección de la población se utilizó el método de proyección exponencial de población mediante la siguiente ecuación.

$$P_f = P_i(1 + r)^n \quad (\text{ec. 7.1})$$

Donde:

P_f = Población final proyectada

P_i = Población inicial

r = Tasa de crecimiento anual

n = Número de años

La tabla muestra los resultados obtenidos.

Tabla CX. Proyección de la población para el periodo de vida útil

N	Año	Población
	2010	60958
	2011	62628
	2012	64344
	2013	66107

	2014	67919
	2015	69780
	2016	71692
	2017	73656
Inicio de operación	2018	75674
2	2019	77748
3	2020	79878
4	2021	82066
5	2022	84315
6	2023	86625
7	2024	88999
8	2025	91437
9	2026	93943
10	2027	96517
11	2028	99161
12	2029	101878
13	2030	104670
14	2031	107538
15	2032	110484
16	2033	113512
17	2034	116622
18	2035	119817
19	2036	123100
20	2037	126473
21	2038	129939
22	2039	133499
23	2040	137157
24	2041	140915
25	2042	144776
26	2043	148743
27	2044	152818
28	2045	157006
29	2046	161308
30	2047	165727
31	2048	170268
32	2049	174934
33	2050	179727
34	2051	184651
35	2052	189711
36	2053	194909
37	2054	200249
38	2055	205736
39	2056	211373

40	2057	217165
----	------	--------

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

7.3.1.2. Proyección de la generación de desechos sólidos

A partir de los datos obtenidos por medio del municipio y la información recabada de fuentes externas con el INEC, y el análisis sectorial de los desechos sólidos, se realizó la proyección de la generación de los residuos sólidos para el periodo de diseño seleccionado.

Para este caso debido a que ya se consideró una tasa de crecimiento de la población de 2.74%, se realizó el cálculo de la proyección con una tasa de generación de 0.59kg/hab/día constante.

Tabla CXI. Proyección de la producción de basura durante el periodo de vida útil

N	Año	Producción de basura (t/d)
	2010	35.97
	2011	36.95
	2012	37.96
	2013	39.00
	2014	40.07
	2015	41.17
	2016	42.30

	2017	43.46
1	2018	44.65
2	2019	45.87
3	2020	47.13
4	2021	48.42
5	2022	49.75
6	2023	51.11
7	2024	52.51
8	2025	53.95
9	2026	55.43
10	2027	56.94
11	2028	58.51
12	2029	60.11
13	2030	61.76
14	2031	63.45
15	2032	65.19
16	2033	66.97
17	2034	68.81
18	2035	70.69
19	2036	72.63
20	2037	74.62
21	2038	76.66
22	2039	78.76
23	2040	80.92
24	2041	83.14
25	2042	85.42
26	2043	87.76
27	2044	90.16
28	2045	92.63
29	2046	95.17
30	2047	97.78
31	2048	100.46
32	2049	103.21
33	2050	106.04
34	2051	108.94
35	2052	111.93
36	2053	115.00
37	2054	118.15
38	2055	121.38
39	2056	124.71
40	2057	128.13

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

7.3.2. Área requerida para la elaboración de compost

La alternativa seleccionada considera la elaboración de compost a partir de la materia orgánica putrescible con el fin de disminuir el impacto en el medio ambiente, incrementar la vida útil del proyecto y darle valor agregado al proyecto a través de una alternativa de ingresos mediante la venta del compost producido.

La estimación del área requerida para la producción de compost se realizó bajo los siguientes criterios técnicos:

Tabla CXII. Criterios técnicos para la elaboración de compost

Criterios técnicos	
Material para compost	Materia orgánica putrescible: 62.38%
Ancho de la cama de compost	Materia orgánica utilizada: 30% 2.5 m
Altura de la cama de compost	1.5 m
Forma geométrica del compost	Triangular
Densidad de los desechos orgánicos	315.78 kg/m ³
Tiempo de producción	90 días
Área para caminera	30% del área del compost

Fuente: Garrido, M., 2014.

Para la estimación del área requerida se utilizó la proyección de la materia orgánica a generarse según los datos de composición que se indicaron en la sección 7.2.2., del total de materia orgánica que se depositará diariamente en el relleno sanitario

(62.38%) solo el 30% se destinará para la producción de compost, puesto que la totalidad de la materia orgánica será previamente clasificada para eliminar la mayor cantidad de impurezas e inorgánicos, y producir compost de alta calidad.

El porcentaje de orgánico que se aproveche para la producción de compost puede incrementarse a través de los años con el objetivo de incrementar la vida útil del proyecto, siempre y cuando las prácticas para la producción de compost se sigan estrictamente a las recomendaciones y si se garantiza la clasificación adecuada.

La disposición de la materia orgánica en la explanada dispuesta para la producción de compost se realizará colocando el material a compostar en forma de un prisma triangular de dimensiones transversales definidas y longitud variable.

La densidad de la materia orgánica de 351.78kg/m^3 , se obtuvo de la información facilitada por el municipio extraída del estudio de caracterización de los desechos sólidos.

El tiempo necesario para obtener una producción de compost de buena calidad debe ser de 90 días, por lo que para los cálculos de disponibilidad de área se ha tenido en cuenta esta consideración.

Finalmente, el área total requerida se calculó añadiendo un 30% adicional para proveer de espacio al interior de la zona de producción de compost, para el traslado del personal y los equipos necesarios para las tareas de compostaje.

A continuación, se muestra la tabla de cálculo del área requerida hasta el final del periodo de diseño.

Tabla CXIII. Determinación del área requerida para la producción del compost

N	Materia Orgánica (t/d)	Volumen (m3/d)	Volumen (90 días)	Área del compost	Área caminera	Total
1	13.39	42.42	3817.49	5089.99	1527.00	6616.99
2	13.76	43.58	3922.09	5229.46	1568.84	6798.30
3	14.14	44.77	4029.56	5372.74	1611.82	6984.57
4	14.53	46.00	4139.97	5519.96	1655.99	7175.95
5	14.92	47.26	4253.40	5671.20	1701.36	7372.57
6	15.33	48.55	4369.95	5826.60	1747.98	7574.57
7	15.75	49.89	4489.68	5986.24	1795.87	7782.12

8	16.18	51.25	4612.70	6150.27	1845.08	7995.35
9	16.63	52.66	4739.09	6318.79	1895.64	8214.42
10	17.08	54.10	4868.94	6491.92	1947.58	8439.50
11	17.55	55.58	5002.35	6669.80	2000.94	8670.74
12	18.03	57.10	5139.41	6852.55	2055.77	8908.32
13	18.53	58.67	5280.23	7040.31	2112.09	9152.40
14	19.03	60.28	5424.91	7233.22	2169.96	9403.18
15	19.56	61.93	5573.55	7431.41	2229.42	9660.83
16	20.09	63.63	5726.27	7635.03	2290.51	9925.53
17	20.64	65.37	5883.17	7844.23	2353.27	10197.49
18	21.21	67.16	6044.37	8059.16	2417.75	10476.90
19	21.79	69.00	6209.98	8279.98	2483.99	10763.97
20	22.39	70.89	6380.14	8506.85	2552.05	11058.90
21	23.00	72.83	6554.95	8739.94	2621.98	11361.92
22	23.63	74.83	6734.56	8979.41	2693.82	11673.24
23	24.28	76.88	6919.09	9225.45	2767.63	11993.08
24	24.94	78.99	7108.67	9478.22	2843.47	12321.69
25	25.63	81.15	7303.45	9737.93	2921.38	12659.31
26	26.33	83.37	7503.56	10004.75	3001.42	13006.17
27	27.05	85.66	7709.16	10278.88	3083.66	13362.54
28	27.79	88.00	7920.39	10560.52	3168.16	13728.67
29	28.55	90.42	8137.41	10849.88	3254.96	14104.84
30	29.33	92.89	8360.37	11147.16	3344.15	14491.31
31	30.14	95.44	8589.45	11452.60	3435.78	14888.37
32	30.96	98.05	8824.80	11766.40	3529.92	15296.32

33	31.81	100.74	9066.60	12088.80	3626.64	15715.44
34	32.68	103.50	9315.02	12420.03	3726.01	16146.04
35	33.58	106.34	9570.25	12760.34	3828.10	16588.44
36	34.50	109.25	9832.48	13109.97	3932.99	17042.96
37	35.44	112.24	10101.89	13469.18	4040.76	17509.94
38	36.42	115.32	10378.68	13838.24	4151.47	17989.71
39	37.41	118.48	10663.06	14217.41	4265.22	18482.63
40	38.44	121.72	10955.22	14606.96	4382.09	18989.05

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

7.3.3. Diseño de la planta de reciclaje

La alternativa seleccionada también considera la implementación de una planta de reciclaje al interior del complejo del relleno sanitario, donde se realizarán trabajos de clasificación de todos los desechos que lleguen al sitio previo a ser colocados en el relleno sanitario.

La implementación de una planta de reciclaje en el relleno sanitario no solo representa una medida de reducción en la cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario para incrementar su vida útil, sino también representa una solución a la problemática social del trabajo informal de reciclaje que desempeñan cientos de personas en los botadores de basura en todo el Ecuador en condiciones de trabajo precarias. Por último,

genera una fuente de ingreso adicional por la venta del material recuperado fomentando la autosostenibilidad del proyecto.

De esta planta de reciclaje se obtendrán materiales recuperables de alto valor comercial como el papel, cartón, plástico, vidrio y metal. Así mismo en estas instalaciones el personal se encargará de la extracción de la materia orgánica que se utilizará para la producción de compost.

Tabla CXIV. Cuantificación de los materiales recuperables

Materiales Recuperables	Porcentaje
Papel	11.50%
Cartón	2.09%
Vidrio	5.04%
Plástico	8.60%
Metal	2.97%
Total	30.2%

Fuente: GAD Municipal de Yaguachi, 2017.

La planta de reciclaje se diseñó para el procesamiento de la totalidad de los desechos recibidos en el complejo del relleno sanitario hasta los primeros 40 años del periodo de diseño, esto es 128.13 toneladas de desechos. De las 128.13 toneladas de desechos el 30% se considera material recuperable.

El 70% de residuos sólidos restante se componen de materia orgánica y desechos no recuperables, de los cuales el 30% se depositará en la zona de compostaje y el resto se depositará en el cuerpo de desechos del relleno sanitario.

Los porcentajes de procesamiento y recuperación de materiales podrán variar en el tiempo según la composición de los desechos que se recepten en el complejo.

El proceso de separación en la planta de reciclaje se muestra en el siguiente esquema.

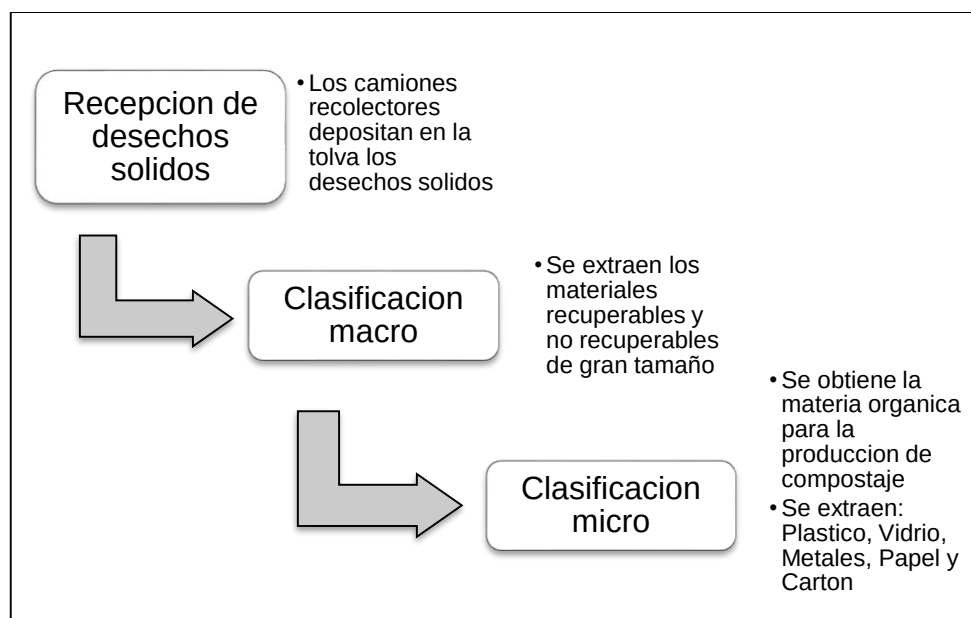


Figura 7.2 Flujo de desechos en la planta de reciclaje
Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Los residuos sólidos serán descargados desde los camiones compactadores, volquetas, camionetas y demás medios de transporte autorizados que lleguen al complejo, en la tolva de recepción donde se extraerán los residuos de gran tamaño recuperables como residuos de metal o cartón, y también se extraerán los desperdicios de gran tamaño que se depositarán en el relleno sanitario como residuos de construcción, textiles, caucho, etc., que son materiales que no son el objetivo de recuperación de la planta.



Figura 7.3 Esquema de la planta de reciclaje
Fuente: COPARM, 2018.

Luego de esta etapa de pre clasificación los residuos de menor tamaño pasan al tambor rotario o trómel para extraer la materia

orgánica de menor tamaño, lo que se logra extraer del trómel se deposita en la zona de compostaje.

A la salida del trómel se ubicará una banda transportadora que se denominará banda clasificadora, en la que se ubicará el personal encargado con el equipo necesario para realizar los trabajos de clasificación y recuperación del material objetivo de la planta de reciclaje.

El producto obtenido luego de la recuperación de los materiales deseados consiste en desperdicios no recuperables, este producto final se depositará en el relleno sanitario.

7.3.3.1. Tolva de recepción

El dimensionamiento de la tolva se realizó según los criterios técnicos que se muestran a continuación:

- 128.13 toneladas diarias de desechos durante la vida útil del proyecto.
- Densidad suelta de los residuos sólidos de 225.78 kg/m^3
- Inclinação del 3% para facilitar el manejo de los residuos y su ingreso a la planta.

- Profundidad máxima de 1 metro para evitar generación de lixiviados y malos olores.

El volumen de residuos que la tolva recepcará será de

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{ec. 7.2})$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{74620 \text{ kg}}{225.78 \text{ kg/m}^3} = 330.5 \text{ m}^3$$

Debido a que la altura de los residuos colocados en la tolva no debe sobrepasar 1 metro de altura y la forma geométrica de la tolva debe ser triangular apuntando hacia la banda transportadora para permitir el paso de los desechos sólidos hacia la planta. Se ha optado por definir las siguientes dimensiones para la tolva de descarga:

- Ancho de la rampa de descarga: 30 metros
- Longitud de la tolva: 22 metros
- Pendiente longitudinal: 3%

7.3.3.2. Trómel separador

El trómel separador seleccionado consiste en un cilindro de paredes de planchas metálicas perforadas que actúan como tamiz para separar la materia orgánica de los residuos

inorgánicos. En su interior cuenta con barras estructurales que garantizan la mezcla de los desechos para lograr una mejor extracción de los productos deseados.

El primer paso en el dimensionamiento del trómel es conocer la tasa de carga. Conociendo que la planta debe procesar 128.13 toneladas de desechos y que los operadores trabajan en turnos para separar manualmente los residuos, pesarlos, prensarlos y almacenarlos. Durante estas actividades la planta debe paralizarse, ya que los operadores deben desplazarse desde la banda clasificadora hacia los demás equipos. Por esto el turno de trabajo de la banda y el trómel se define en 4 horas.

$$Tasa\ de\ carga,\ t/h = \frac{Desechos\ solidos\ t/d}{4\ h/d} \quad (ec.\ 7.3)$$

Tabla CXV. Determinación del flujo de desechos en la planta de reciclaje

N	Año	Q (t/h)
1	2018	11.16
2	2019	11.47
3	2020	11.78
4	2021	12.10
5	2022	12.44
6	2023	12.78
7	2024	13.13
8	2025	13.49
9	2026	13.86

10	2027	14.24
11	2028	14.63
12	2029	15.03
13	2030	15.44
14	2031	15.86
15	2032	16.30
16	2033	16.74
17	2034	17.20
18	2035	17.67
19	2036	18.16
20	2037	18.65
21	2038	19.17
22	2039	19.69
23	2040	20.23
24	2041	20.78
25	2042	21.35
26	2043	21.94
27	2044	22.54
28	2045	23.16
29	2046	23.79
30	2047	24.44
31	2048	25.11
32	2049	25.80
33	2050	26.51
34	2051	27.24
35	2052	27.98
36	2053	28.75
37	2054	29.54
38	2055	30.35
39	2056	31.18
40	2057	32.03

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

En la tabla se muestra la variación de la tasa de carga o flujo másico de desechos que deberán procesarse en el trómel durante todos los años del periodo de vida del proyecto.

Para la selección del diámetro del tambor rotatorio se eligió la tasa de carga de desechos al año 40 del periodo de diseño.

La siguiente ecuación permite determinar el diámetro del trómel

$$D_{teorico} = \frac{11.36 \cdot Q_t}{d_b \cdot F \cdot K_v \cdot g^{0.5} \cdot \tan \alpha} \quad (\text{ec. 7.4})$$

$$D_{teorico} = \frac{11.36 \cdot 5.18}{225.78 \cdot 0.33 \cdot 1.85 \cdot 9.81^{0.5} \cdot \tan(5^\circ)} = 1.55 \text{ m}$$

Se ha seleccionado finalmente un diámetro de 1.60m para el trómel de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- Mayores diámetros requieren menor longitud del tambor, lo que reduce costos de construcción y mantenimiento.
- Mayores diámetros también requieren menor velocidad de rotación que se traduce en la disminución del consumo energético del equipo rotatorio.

La velocidad de rotación crítica del trómel está definida por la siguiente ecuación:

$$n_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{9.81 \text{ m/s}^2}{r}} = 0.55 \text{ rev/s} \quad (\text{ec. 7.5})$$

La velocidad óptima de operación se alcanza cuando se tiene el 50% de la velocidad crítica. Por lo tanto, la velocidad de rotación a la que trabajará en el trómel será de 0.28 rev/s.

7.3.3.3. Banda clasificadora

La banda clasificadora se debe considerar de tal manera que los operadores ubicados puedan trabajar cómodamente sin interrumpir el trabajo de otros operadores y facilitando la recuperación de los materiales.

Por lo tanto, la banda deberá operar a una velocidad óptima de 0.1m/s que permite la recuperación de los materiales.

La banda clasificadora estará compuesta por elementos laterales que impidan el desbordamiento de los desechos transportados, estará apoyada sobre rodillos que permitan el movimiento cíclico de la banda. También por motivos de seguridad el diseño y montaje debe cumplir con ciertas consideraciones ergonómicas para generar un ambiente de trabajo saludable.

Según las recomendaciones antropométricas para espacios horizontales y verticales de trabajo; en los que el personal está sentado, que muestran a continuación.

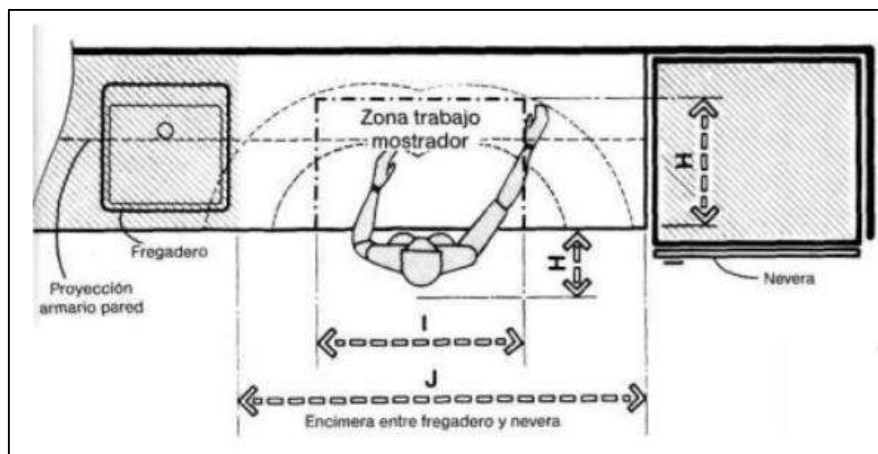


Figura 7.4 Esquema de dimensiones de mostrador

Fuente: Panero, J., 1996.

Tabla CXVI. Dimensiones del puesto de trabajo

Dimensiones	
H	45.7 cm
I	91.4 cm
J	106.7 cm

Fuente: Panero, J., 1996.

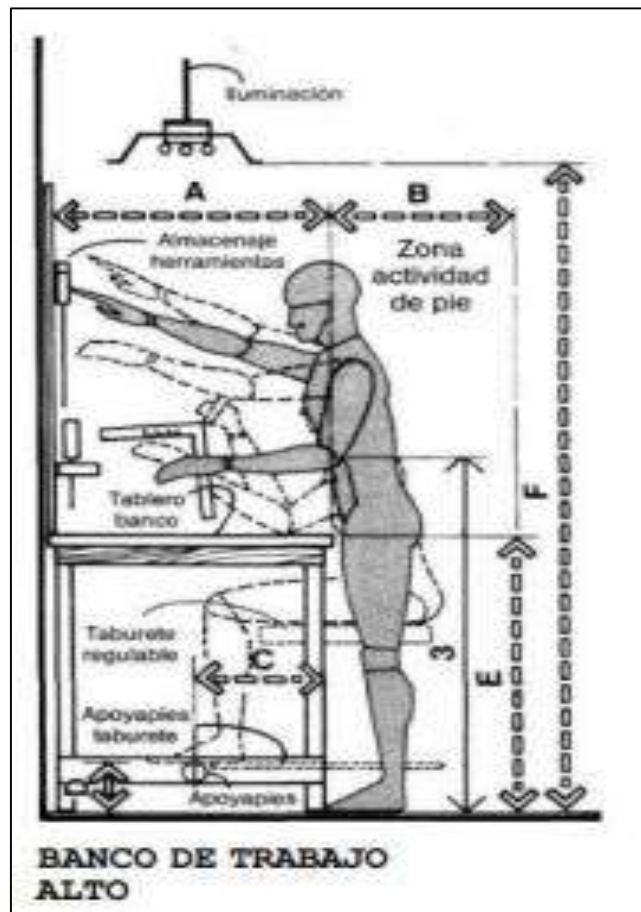


Figura 7.5 Esquema del banco de trabajo
Fuente: Panero, J., 1996.

Tabla CXVII. Dimensiones del banco de trabajo

Dimensiones	
A	45.7-91.4 cm
B	45.7 cm
C	15.2-22.9 cm
D	17.8-22.9 cm
E	86.4-91.4 cm

F	213.4 cm
---	----------

Fuente: Panero, J., 1996.

El ancho y alto de la banda clasificadora se han definido de la siguiente manera:

Tabla CXVIII. Dimensiones de la banda clasificadora

Dimensiones de la banda	
Ancho	70 cm
Altura a la banda medida desde el piso	85 cm
Altura a los elementos de confinamiento medida desde el piso	95 cm

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

La longitud de la banda clasificadora se determina en función de los puestos de trabajo que se vayan a asignar, y a su vez los puestos de trabajo están directamente relacionados a las tasas de recuperación de los materiales.

Tabla CXIX. Tasa de recuperación de materiales reciclables

Material	Tasa de recuperación (ton/persona/h)
Plástico	0.7
Papel/Cartón	1.7
Vidrio	0.4
Metal	0.3

Fuente: Tchobanoglous, 1994.

Tabla CXX. Cuantificación del material recuperado durante el periodo de operación del proyecto

N	Año	Papel (t/d)	Cartón (t/d)	Vidrio (t/d)	Plástico (t/d)	Metal (t/d)
----------	------------	------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------------	------------------------

1	2018	5.13	0.93	2.25	3.84	1.33
2	2019	5.28	0.96	2.31	3.94	1.36
3	2020	5.42	0.98	2.38	4.05	1.40
4	2021	5.57	1.01	2.44	4.16	1.44
5	2022	5.72	1.04	2.51	4.28	1.48
6	2023	5.88	1.07	2.58	4.40	1.52
7	2024	6.04	1.10	2.65	4.52	1.56
8	2025	6.20	1.13	2.72	4.64	1.60
9	2026	6.37	1.16	2.79	4.77	1.65
10	2027	6.55	1.19	2.87	4.90	1.69
11	2028	6.73	1.22	2.95	5.03	1.74
12	2029	6.91	1.26	3.03	5.17	1.79
13	2030	7.10	1.29	3.11	5.31	1.83
14	2031	7.30	1.33	3.20	5.46	1.88
15	2032	7.50	1.36	3.29	5.61	1.94
16	2033	7.70	1.40	3.38	5.76	1.99
17	2034	7.91	1.44	3.47	5.92	2.04
18	2035	8.13	1.48	3.56	6.08	2.10
19	2036	8.35	1.52	3.66	6.25	2.16
20	2037	8.58	1.56	3.76	6.42	2.22
21	2038	8.82	1.60	3.86	6.59	2.28
22	2039	9.06	1.65	3.97	6.77	2.34
23	2040	9.31	1.69	4.08	6.96	2.40
24	2041	9.56	1.74	4.19	7.15	2.47
25	2042	9.82	1.79	4.31	7.35	2.54
26	2043	10.09	1.83	4.42	7.55	2.61
27	2044	10.37	1.88	4.54	7.75	2.68
28	2045	10.65	1.94	4.67	7.97	2.75
29	2046	10.94	1.99	4.80	8.18	2.83
30	2047	11.24	2.04	4.93	8.41	2.90
31	2048	11.55	2.10	5.06	8.64	2.98
32	2049	11.87	2.16	5.20	8.88	3.07
33	2050	12.19	2.22	5.34	9.12	3.15
34	2051	12.53	2.28	5.49	9.37	3.24
35	2052	12.87	2.34	5.64	9.63	3.32
36	2053	13.22	2.40	5.80	9.89	3.42
37	2054	13.59	2.47	5.95	10.16	3.51
38	2055	13.96	2.54	6.12	10.44	3.61
39	2056	14.34	2.61	6.29	10.73	3.70
40	2057	14.73	2.68	6.46	11.02	3.81

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

La tabla anterior muestra la recuperación esperada a través de los años del periodo de vida del relleno sanitario. A partir de estos datos se definirán los puestos de trabajo necesarios para el año 20 del periodo de diseño, con el único objetivo de determinar la longitud de banda necesaria al momento de alcanzar tal producción de desechos sólidos.

Pero se recomienda que los puestos de trabajo se incrementen paulatinamente conforme sea necesario con el fin de disminuir costos de operación. Las tablas a continuación muestran la demanda de puestos de trabajo según el material a recuperarse.

Tabla CXXI. Determinación del requerimiento de personal para la recuperación de material reciclable durante la operación del proyecto

N	Año	Papel	Cartón	Vidrio	Plástico	Metal	Total
1	2018	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
2	2019	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
3	2020	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
4	2021	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
5	2022	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
6	2023	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
7	2024	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
8	2025	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
9	2026	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
10	2027	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
11	2028	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	8.00
12	2029	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	9.00
13	2030	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	9.00
14	2031	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	9.00
15	2032	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
16	2033	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00

17	2034	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
18	2035	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
19	2036	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
20	2037	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
21	2038	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
22	2039	2.00	1.00	3.00	3.00	2.00	11.00
23	2040	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
24	2041	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
25	2042	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
26	2043	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
27	2044	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
28	2045	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
29	2046	2.00	1.00	3.00	3.00	3.00	12.00
30	2047	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
31	2048	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
32	2049	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
33	2050	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
34	2051	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
35	2052	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
36	2053	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
37	2054	2.00	1.00	4.00	4.00	3.00	14.00
38	2055	3.00	1.00	4.00	4.00	4.00	16.00
39	2056	3.00	1.00	4.00	4.00	4.00	16.00
40	2057	3.00	1.00	5.00	4.00	4.00	17.00

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

En el año 20 se requieren 11 personas ubicadas a lo largo de la banda clasificadora para realizar las tareas de recuperación de los materiales designados.

De las recomendaciones antropométricas indicadas anteriormente se tiene también que el ancho de un puesto de trabajo para una persona trabajando de pie frente a un mostrador, debe ser de 90 centímetros mínimo, para el presente proyecto se definió el ancho de trabajo en 1 metro.

Por lo tanto, la longitud de la banda clasificadora será de 13 metros ya que se ubica 1 persona cada metro y se añaden 2 metros para colocar los equipos de transmisión.

En base al tipo de material a transportar se ha seleccionado el siguiente tipo de banda.

Tabla CXXII. Características de la banda seleccionada para la banda clasificadora

Características	
Banda	Transilon E 8/2 U0/V5
Material del tejido	Poliéster
Numero de capas	2
Recubrimiento de la cara de circulación	Uretano
Recubrimiento de la cara de transporte	PVC
Espesor total aproximado	2.1mm
Peso total aproximado	2.4
Comportamiento dinámico SD	8 N/mm
Masa de la banda	18kg

Fuente: FORBO, 2017.

7.3.3.4. Prensa hidráulica

La prensa hidráulica seleccionada para la reducción de volumen de los desechos clasificados depende de la cantidad de material a compactar diariamente. De acuerdo con los cálculos realizados

de recuperación de papel, cartón, vidrio, metal y plástico, la prensa hidráulica debe tener las siguientes características:

Tabla CXXIII. Características de la prensa hidráulica seleccionada

Características	
Modelo	F308/10
Dimensión de embalaje	1000 x 700 mm
Fuerza de compactación	10 ton
Apertura de compuerta	1000 x 700 mm
Potencia	2.2 Kw
Voltaje	400 V – 50 Hz
Peso del bulto compactado	200 – 250 kg
Ciclo	30 seg

Fuente: COPARM, 2017.

7.3.3.5. Balanza

La última estación en la planta de reciclaje será la balanza, la cual permitirá llevar un registro del material recuperado. Se consideró una balanza electrónica con el objetivo de dinamizar el proceso de registro y establecer un control automatizado por medio software.

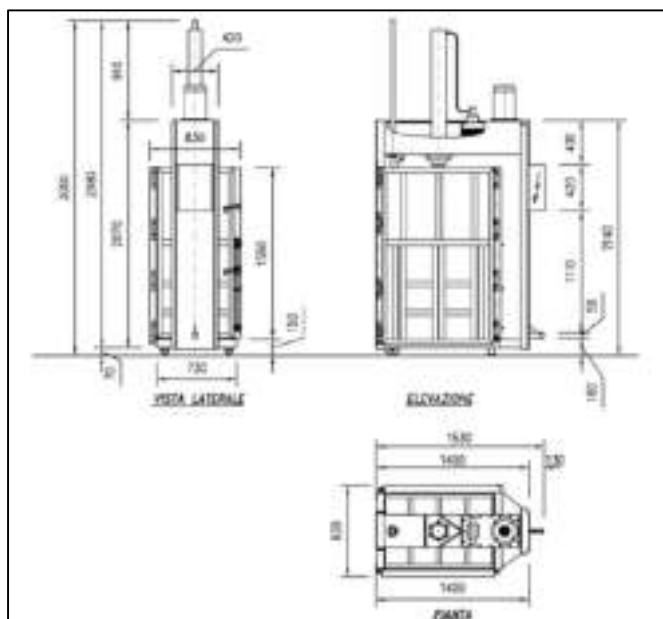


Figura 7.6 Dimensiones de prensa hidráulica
Fuente: COPARM, 2017

Tabla CXXIV. Características de la balanza electrónica
Características

Capacidad	800kg
Unidades	Kilogramos, libras
Alimentación	Adaptador DC 6V + Batería 4V
Estructura	Acero 219 Alta Resistencia

Fuente: MAVIN, 2017.

7.1.1. Diseño del relleno sanitario

Finalmente, los desechos que no sean recuperados en la planta de reciclaje y que tampoco se utilicen en la producción de compost, serán depositados en el cuerpo de desechos del relleno sanitario.

7.1.1.1. Diseño de las características geométricas de las celdas

En base a la generación de residuos sólidos proyectada, mostrada en la Tabla CXXVI se realizó el dimensionamiento de la celda diaria, siguiendo los criterios a continuación presentados:

- Los niveles del cuerpo de desechos se construirán con taludes 1:1
- La altura de cada nivel será de 1.5m
- Se aplicará el material de cobertura diario con un espesor de 30cm
- El ancho de la celda diaria será de 5m
- El cierre de cada nivel se realizará con taludes 2:1
- Densidad compactada de los desechos 0.7 T/m^3
- Solo el 40% de los desechos van al cuerpo de desechos

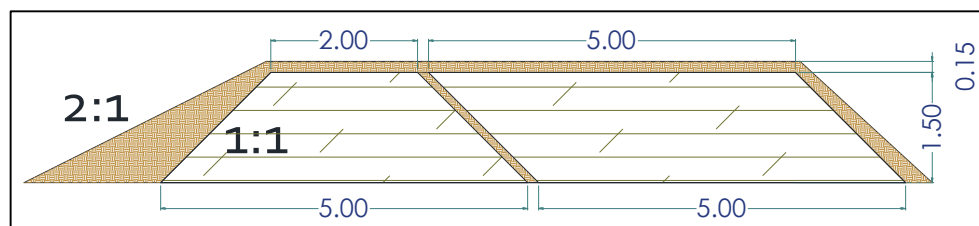


Figura 7.7 Detalle de celdas y cobertura diaria

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Luego de calcular el volumen de la celda diaria para cada año del periodo de diseño se procedió a calcular la variación de la longitud de la celda diaria durante la vida útil del proyecto, y de

igual manera el volumen de material de cobertura requerido. Ver
Tabla CXXVI.

Tabla CXXV. Proyección del volumen de desechos a depositar en el relleno sanitario

N	Año	Cantidad de desechos (t/d)	Volumen de desechos diarios (m ³ /d)	Volumen de desechos anual (m ³ /a)
1	2018	17.86	25.51	9312.24
2	2019	18.35	26.21	9567.39
3	2020	18.85	26.93	9829.54
4	2021	19.37	27.67	10098.87
5	2022	19.90	28.43	10375.58
6	2023	20.44	29.21	10659.87
7	2024	21.00	30.01	10951.95
8	2025	21.58	30.83	11252.03
9	2026	22.17	31.67	11560.34
10	2027	22.78	32.54	11877.09
11	2028	23.40	33.43	12202.52
12	2029	24.04	34.35	12536.87
13	2030	24.70	35.29	12880.38
14	2031	25.38	36.26	13233.31
15	2032	26.07	37.25	13595.90
16	2033	26.79	38.27	13968.43
17	2034	27.52	39.32	14351.16
18	2035	28.28	40.40	14744.38
19	2036	29.05	41.50	15148.38
20	2037	29.85	42.64	15563.44
21	2038	30.67	43.81	15989.88
22	2039	31.51	45.01	16428.00
23	2040	32.37	46.24	16878.13
24	2041	33.26	47.51	17340.59
25	2042	34.17	48.81	17815.73
26	2043	35.10	50.15	18303.88
27	2044	36.07	51.52	18805.40
28	2045	37.05	52.93	19320.67
29	2046	38.07	54.38	19850.06
30	2047	39.11	55.87	20393.95
31	2048	40.18	57.40	20952.74
32	2049	41.28	58.98	21526.85
33	2050	42.42	60.59	22116.68

34	2051	43.58	62.25	22722.68
35	2052	44.77	63.96	23345.28
36	2053	46.00	65.71	23984.94
37	2054	47.26	67.51	24642.13
38	2055	48.55	69.36	25317.32
39	2056	49.88	71.26	26011.02
40	2057	51.25	73.22	26723.72

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Tabla CXXVI. Proyección del requerimiento de volumen de material de cobertura

N	Año	Ancho (m)	Altura (m)	Área Transversal (m2)	Longitud (m)	Volumen diario de cobertura (m3/d)
1	2018	5.00	1.50	5.25	4.86	7.73
2	2019	5.00	1.50	5.25	4.99	7.94
3	2020	5.00	1.50	5.25	5.13	8.16
4	2021	5.00	1.50	5.25	5.27	8.38
5	2022	5.00	1.50	5.25	5.41	8.61
6	2023	5.00	1.50	5.25	5.56	8.84
7	2024	5.00	1.50	5.25	5.72	9.09
8	2025	5.00	1.50	5.25	5.87	9.34
9	2026	5.00	1.50	5.25	6.03	9.59
10	2027	5.00	1.50	5.25	6.20	9.85
11	2028	5.00	1.50	5.25	6.37	10.12
12	2029	5.00	1.50	5.25	6.54	10.40
13	2030	5.00	1.50	5.25	6.72	10.69
14	2031	5.00	1.50	5.25	6.91	10.98
15	2032	5.00	1.50	5.25	7.10	11.28
16	2033	5.00	1.50	5.25	7.29	11.59
17	2034	5.00	1.50	5.25	7.49	11.91
18	2035	5.00	1.50	5.25	7.69	12.23
19	2036	5.00	1.50	5.25	7.91	12.57
20	2037	5.00	1.50	5.25	8.12	12.91
21	2038	5.00	1.50	5.25	8.34	13.27
22	2039	5.00	1.50	5.25	8.57	13.63
23	2040	5.00	1.50	5.25	8.81	14.00
24	2041	5.00	1.50	5.25	9.05	14.39
25	2042	5.00	1.50	5.25	9.30	14.78
26	2043	5.00	1.50	5.25	9.55	15.19
27	2044	5.00	1.50	5.25	9.81	15.60
28	2045	5.00	1.50	5.25	10.08	16.03

29	2046	5.00	1.50	5.25	10.36	16.47
30	2047	5.00	1.50	5.25	10.64	16.92
31	2048	5.00	1.50	5.25	10.93	17.39
32	2049	5.00	1.50	5.25	11.23	17.86
33	2050	5.00	1.50	5.25	11.54	18.35
34	2051	5.00	1.50	5.25	11.86	18.85
35	2052	5.00	1.50	5.25	12.18	19.37
36	2053	5.00	1.50	5.25	12.52	19.90
37	2054	5.00	1.50	5.25	12.86	20.45
38	2055	5.00	1.50	5.25	13.21	21.01
39	2056	5.00	1.50	5.25	13.57	21.58
40	2057	5.00	1.50	5.25	13.95	22.17

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Finalmente, el cuerpo de residuos del complejo se dimensionó en base a los requerimientos de volumen anual según la cantidad de residuos sólidos producidos y el material de cobertura.

Tabla CXXVII. Proyección del volumen total ocupado por el relleno sanitario

N	Año	Volumen anual
1	2018	12105.91
2	2019	12437.61
3	2020	12778.40
4	2021	13128.53
5	2022	13488.25
6	2023	13857.83
7	2024	14237.53
8	2025	14627.64
9	2026	15028.44
10	2027	15440.22
11	2028	15863.28
12	2029	16297.93
13	2030	16744.50
14	2031	17203.30
15	2032	17674.67
16	2033	18158.95
17	2034	18656.51

18	2035	19167.70
19	2036	19692.89
20	2037	20232.48
21	2038	20786.85
22	2039	21356.41
23	2040	21941.57
24	2041	22542.77
25	2042	23160.44
26	2043	23795.04
27	2044	24447.02
28	2045	25116.87
29	2046	25805.07
30	2047	26512.13
31	2048	27238.56
32	2049	27984.90
33	2050	28751.69
34	2051	29539.48
35	2052	30348.87
36	2053	31180.42
37	2054	32034.77
38	2055	32912.52
39	2056	33814.32
40	2057	34740.84

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Las dimensiones obtenidas de cada nivel del cuerpo de desechos se presentan a continuación junto con el tiempo de operación de cada nivel de acuerdo con la cantidad de desechos que puede almacenar.

Tabla CXXVIII. Diseño del cuerpo de desechos del relleno sanitario

Nivel	L _{INF}	B _{INF}	AREA _{INF}	L _{SUP}	B _{SUP}	AREA _{SUP}	VOLUMEN	Operación (MESES)
1	294.4	264.4	77839.36	291.4	261.4	76171.96	115506.23	120
2	279.8	249.8	69894.04	276.8	246.8	68314.24	103653.95	84
3	265.2	235.2	62375.04	262.2	232.2	60882.84	92441.15	60
4	242.6	212.6	51576.76	239.6	209.6	50220.16	76345.43	48
5	228	198	45144	225	195	43875	66761.99	36

6	213.4	183.4	39137.56	210.4	180.4	37956.16	57818.03	24
7	190.8	160.8	30680.64	187.8	157.8	29634.84	45234.34	24
8	176.2	146.2	25760.44	173.2	143.2	24802.24	37919.74	18
9	161.6	131.6	21266.56	158.6	128.6	20395.96	31244.62	12
10	139	109	15151	136	106	14416	22172.97	12
11	124.4	94.4	11743.36	121.4	91.4	11095.96	17127.20	10
12	109.8	79.8	8762.04	106.8	76.8	8202.24	12720.90	10
13	87.2	57.2	4987.84	84.2	54.2	4563.64	7161.25	8
14	72.6	42.6	3092.76	69.6	39.6	2756.16	4384.27	8
15	58	28	1624	55	25	1375	2246.66	6

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

El cuerpo de desechos tendrá una forma de pirámide truncada con taludes 2:1 y bermas típicas de 4 metros y cada 3 bermas serán de 8 metros, la pirámide estará conformada por 15 niveles de 1.5 m de altura más una capa de material de cobertura de 15 cm de espesor en cada nivel. Adicionalmente, la capa del cierre definitivo tendrá un espesor de 2,50 m, como se muestra en la Figura 7.8

Por lo tanto, la altura final de la pirámide será de 25,25m y tendrá una capacidad de almacenamiento de 692740m³ de desechos sólidos netos.

7.1.1.2. Material de cobertura

La basura colocada diariamente debe quedar sellada al final de la jornada de trabajo, por lo que se dispondrá de material arcilloso en capas de 15cm sobre los residuos compactados.

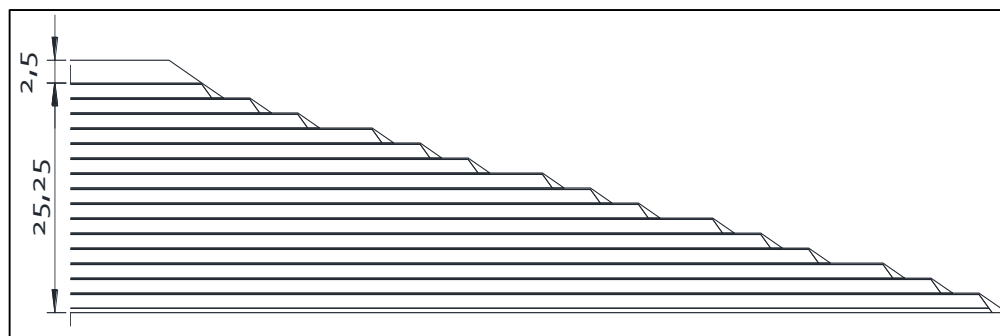


Figura 7.8 Esquema del cuerpo de desechos

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

La capa de cierre o cobertura final se compone de una capa permeable de 50cm de espesor formada por grava para el transporte y movimiento de los gases generados. Sobre la capa permeable se colocará material arcilloso en 2 capas de 25cm para impermeabilizar la superficie entre estas capas se colocará una geomembrana de 2mm de espesor.

Luego se colocará otra capa de grava de 50cm de espesor para el drenaje de aguas lluvias, sobre esta capa se colocará material obtenido del compost para facilitar el crecimiento de vegetación luego del cierre con un espesor de 1m.

Sobre los taludes de los niveles terminados se construirán paulatinamente rampas de acceso que permitan a los equipos de transporte llegar al frente de trabajo a depositar los desechos.

Estas rampas tendrán un ancho de vía de 8 metros y pendiente del 8%.

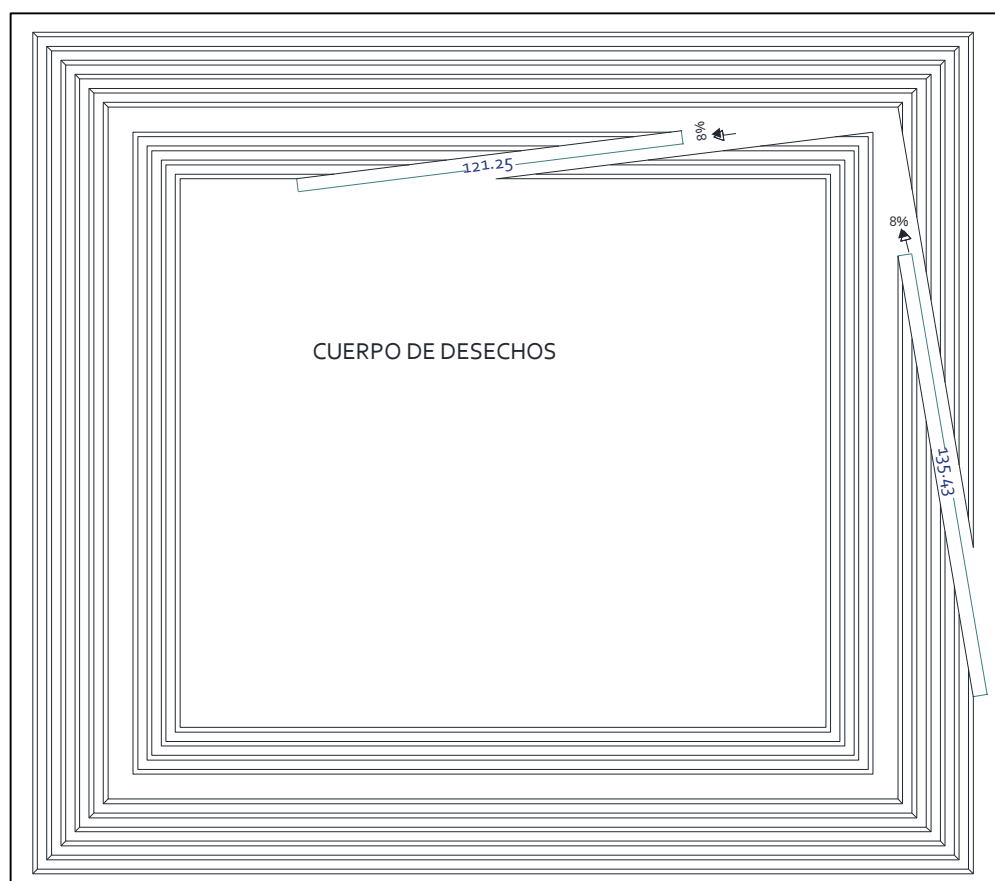


Figura 7.9 Vista en planta del cuerpo de desechos

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

La primera rampa será de 135.43m de longitud y llegará hasta el nivel 6 con una altura de 10.8 metros. La segunda rampa iniciará en el nivel 6 y alcanzará la corona del relleno a una altura de 20.5m, la longitud de la rampa es de 121.64m y el desnivel es de 9.7m.

7.1.1.3. Capa base del relleno sanitario

La base del relleno sanitario se construirá sobre el terraplén de material del fondo del Río Chimbo, esta capa base es de suma importancia porque debe realizarse de tal manera que se asegura la impermeabilización del fondo del relleno sanitario.

Para la base del relleno sanitario se consideró la colocación de una geomembrana de 2mm de espesor apoyada en el terraplén, y luego se colocará un geotextil de 1.7mm de espesor para protección de la membrana. Sobre esta capa impermeable se construirá la capa de drenaje del relleno sanitario a través de la cual se conducirán los lixiviados producidos hacia las lagunas de lixiviados. Ver Figura 7.10

Previo a la colocación de la geomembrana, la superficie del terraplén de apoyo será replanteada y nivelada para definir las pendientes del terreno según las directrices del diseño, con el objetivo de asegurar el buen drenaje de los lixiviados mediante la conformación de la cuenca y subcuencas de drenaje.

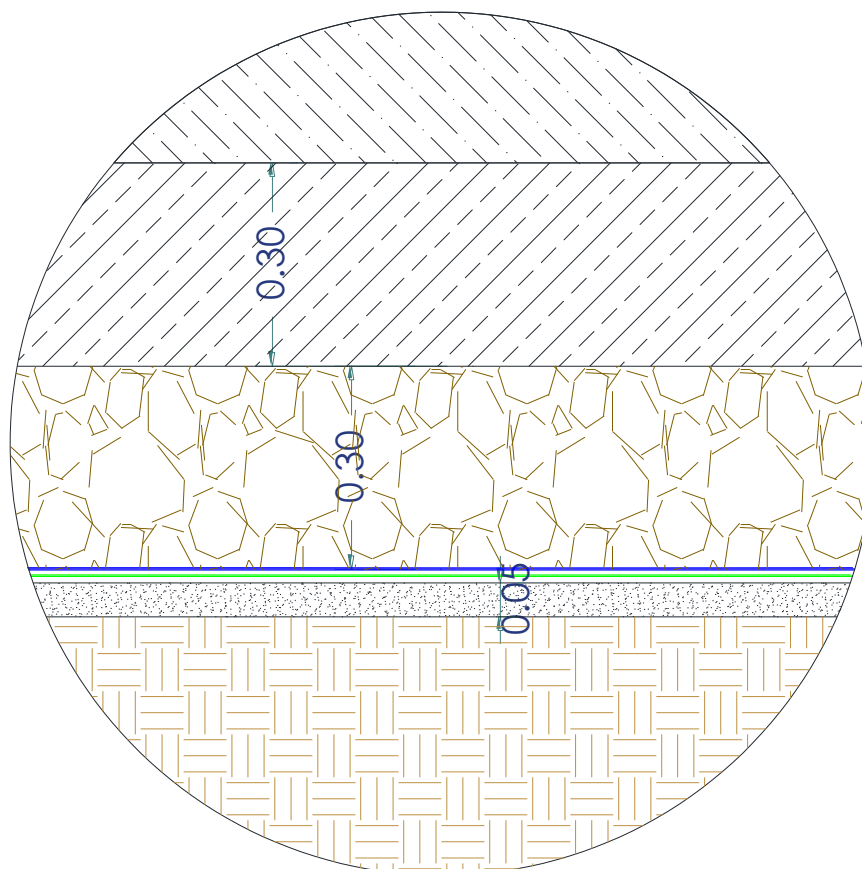


Figura 7.10 Cimentación del cuerpo de desechos
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

7.1.1.4. Capa de drenaje de lixiviados

La capa de drenaje de lixiviados estará formada por una capa de grava de 50cm de espesor colocada sobre la capa base, el material granular utilizado debe cumplir los siguientes criterios para asegurar su aptitud y buen funcionamiento.

En combinación con la capa de material granular se colocarán tuberías de PVC perforadas que se encargarán de captar y

transportar el lixiviado producido hacia la laguna de lixiviados donde se depositarán finalmente. Una capa de geotextil de 1,7mm de espesor se colocará sobre la capa de drenaje para proteger los drenes y evitar el taponamiento.

Tabla CXXIX. Recomendaciones para la construcción de la capa de drenaje de lixiviados

Criterio	Propiedades
Espesor de la capa	50 cm
Dimensiones del material granular	Mezcla homogénea 16cm < d < 32cm o 8cm < d < 16cm
Proporciones de las piedras	Redondas (largo:ancho < 3:1)
Contenido de carbonato de calcio	<20%
Permeabilidad	$K > 1 \times 10^{-3}$ m/s
Pendiente transversal hacia drenes secundarios	3%
Pendiente longitudinal hacia la laguna de lixiviados	1%

Fuente: Röben, E., 2002.

Para el dimensionamiento de las tuberías de drenaje se realizó la proyección de la generación de líquido lixiviado para estimar un caudal y determinar el diámetro de la tubería necesaria usando la fórmula de Manning, para transportar de forma segura el lixiviado producido.

La proyección de la producción de lixiviado se realizó empleando el método de balance de aguas, en el que se tiene en cuenta la

cantidad de precipitación, evaporación, infiltración, escorrentía y percolación, siendo la cantidad estimado de percolación el lixiviado producido.

Obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla CXXX. Proyección del caudal de lixiviado durante la operación del proyecto

	Año	Caudal diario lixiviado (m³/día)
1	2018	126.75
2	2019	128.83
3	2020	129.77
4	2021	129.11
5	2022	127.55
6	2023	125.46
7	2024	123.14
8	2025	120.78
9	2026	118.4
10	2027	115.98
11	2028	113.52
12	2029	111.03
13	2030	108.51
14	2031	105.94
15	2032	103.92
16	2033	100.07
17	2034	97.99
18	2035	95.21
19	2036	92.4
20	2037	91.44
21	2038	32.58
22	2039	38.04
23	2040	28.52
24	2041	25.65
25	2042	23.83
26	2043	23.61
27	2044	23.84
28	2045	23.71

29	2046	23.6
30	2047	23.51
31	2048	23.42
32	2049	23.34
33	2050	23.28
34	2051	23.23
35	2052	23.19
36	2053	23.19
37	2054	23.2
38	2055	23.2
39	2056	23.2
40	2057	23.2

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

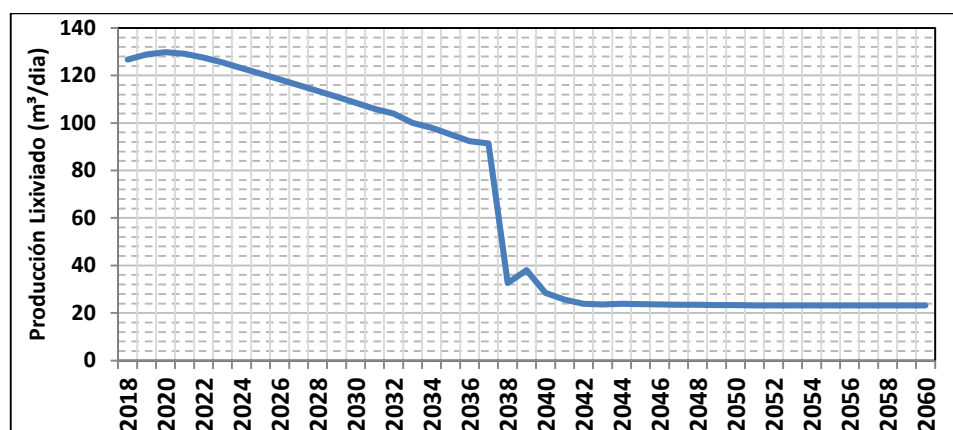


Figura 7.11 Proyección del lixiviado

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

La red de tuberías de drenaje secundarias estará compuesta por 1368 m de tubería PVC perforada de $\Phi 100\text{mm}$ con una pendiente longitudinal del 3%, las tuberías se colocarán en la parte más baja de las subcuencas de drenaje formadas con pendiente transversal también del 3%.

El dren principal está compuesto por 404m de tubería perforada de $\Phi 200\text{mm}$ y deberá tener una pendiente longitudinal del 1%, este dren se colocará en la parte más baja de la cuenca de drenaje principal para luego conectarse a un tramo de tubería sin perforar que transportará el lixiviado a la laguna.

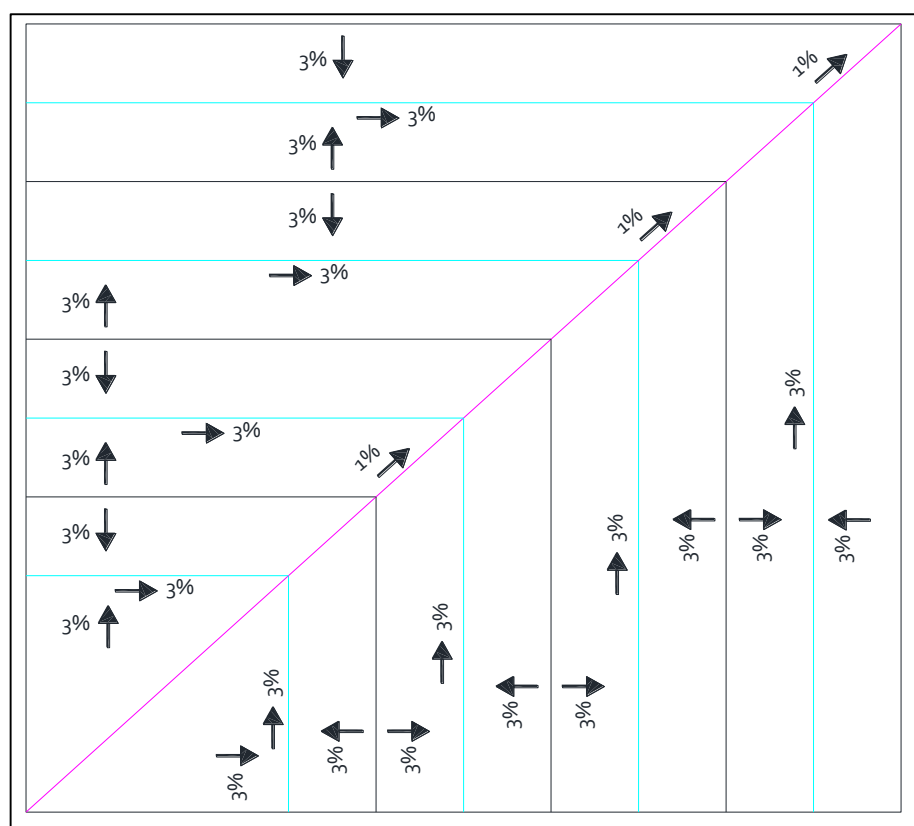


Figura 7.12 Red de drenaje de lixiviados
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Las perforaciones en las tuberías deberán ser de 1cm de diámetro espaciados 2.5cm a lo largo de toda la tubería. El

diámetro del orificio es satisfactorio ya que se ha elegido grava de tamaño mayor o igual a 8cm para la capa de drenaje.

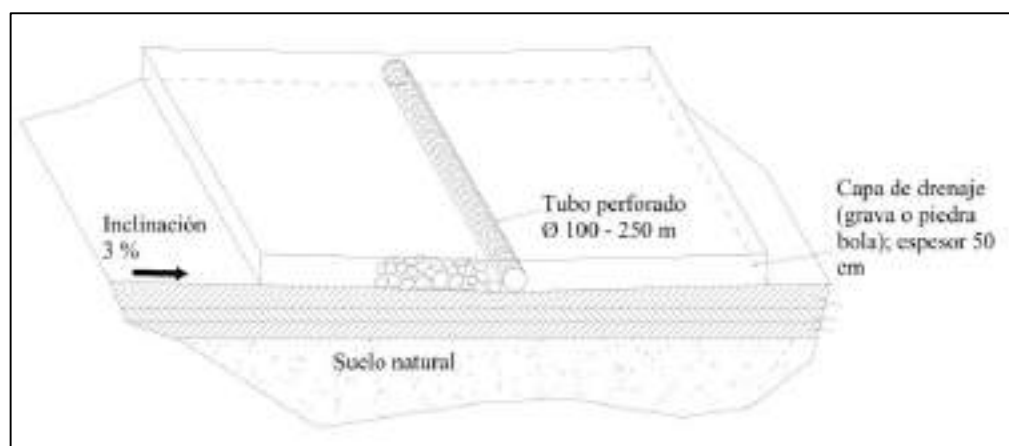


Figura 7.13 Esquema de instalación de drenes

Fuente: Röben, E., 2002.

Se presenta un esquema de la colocación de los drenes en el fondo de las cuencas de drenaje, en la Figura 7.13

7.1.1.5. Laguna de lixiviados

Los lixiviados evacuados por medio de los drenes se depositarán en una laguna excavada dentro del complejo del relleno sanitario, la laguna tendrá 160x42m en el fondo, la profundidad será de 80cm en los que se considera un espejo de agua de 30cm y 50cm de borde libre. Los taludes de excavación serán 1:1.

En toda la superficie de la laguna se colocará una geomembrana de 2mm de espesor con sobreanchos de 2 metros en todo el perímetro de la laguna para anclarla debidamente. La geomembrana se anclará por medio de un canal de anclaje excavado en su perímetro de 50cm de profundidad y 50cm de ancho. La porción de la geomembrana que sea introducida en el canal de anclaje se protegerá con la colocación de geotextil de 1,7mm de espesor y finalmente se proveerá de grava de tamaño de partícula de 10cm para rellenar el canal de anclaje y asegurar la geomembrana.

Se instalará una motobomba de 4" para la recirculación de lixiviados, ya que el sistema de eliminación de los líquidos en este proyecto es por evaporación.

7.1.1.6. Biogás

Para el biogás producido por la descomposición de los desechos colocados en el relleno sanitario se ha considerado en este proyecto la construcción de filtros o chimeneas que permitirán la evacuación del gas producido por combustión empleando mecheros en la parte superior de las chimeneas.

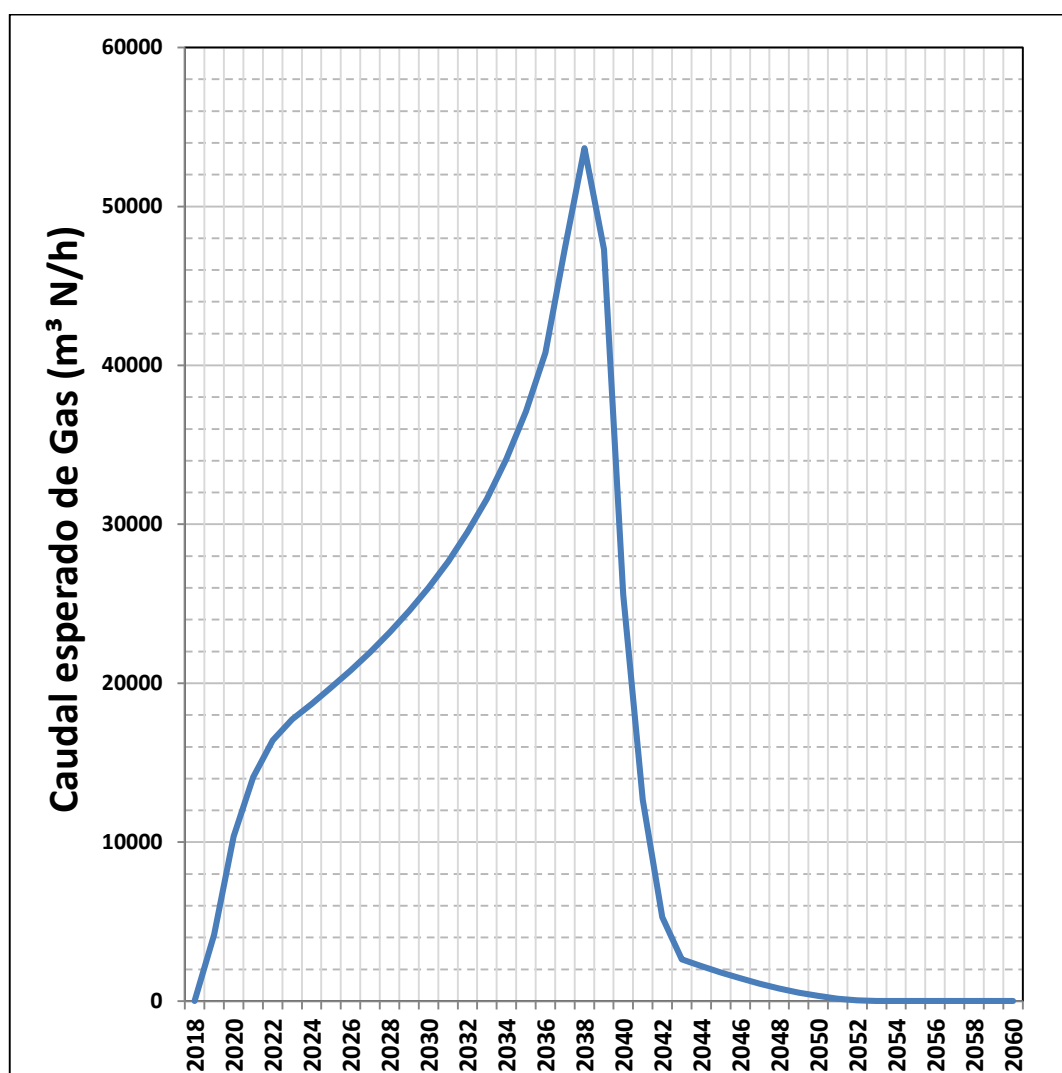


Figura 7.14 Producción de gas
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Este método de evacuación de gases se ha elegido dado que el método de construcción del relleno sanitario se trata del método de áreas y se espera un alto grado de compactación de los residuos y por lo tanto un sistema de extracción horizontal de los

gases afectaría el desenvolvimiento de las actividades de operación con normalidad.

Los filtros o chimeneas se diseñaron según las recomendaciones de la Guía de diseño de rellenos sanitarios de la ciudad de Loja. Los filtros serán de 40x40cm en su sección transversal y la altura será variable según su ubicación y el avance de construcción del relleno sanitario. Las chimeneas se ubicarán a una distancia de 20m entre ellas.

Estos componentes se construirán con varillas de 14mm en cada esquina con puntales, se utilizará malla de acero de espaciamiento de 2cm para confinar la grava colocada para formar el filtro. El material granular deberá ser de tamaño de partícula de 8cm de diámetro.

En la parte superior de la chimenea la cual varía según el avance de la construcción se colocará una antorcha con un mechero para eliminar los gases producidos en el relleno sanitario por combustión.

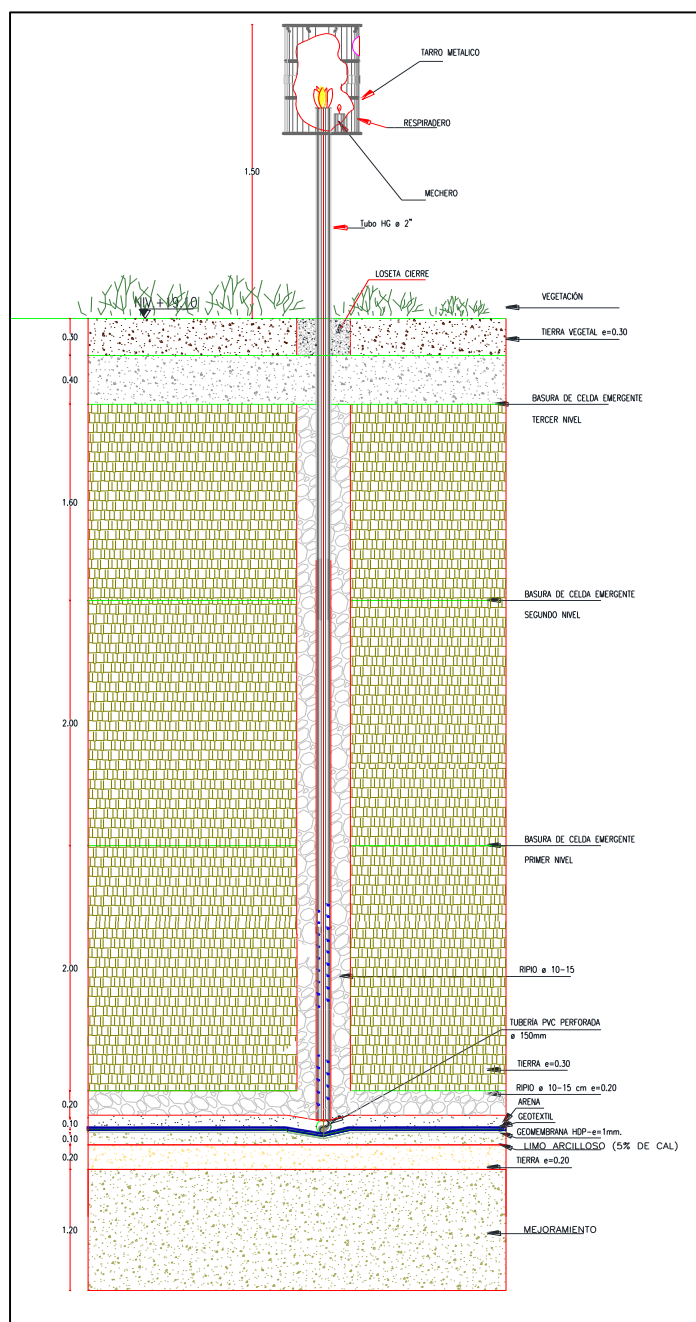


Figura 7.15 Esquema del mechero de gases
Fuente: Rodriguez, O., Condo, A., 2017.

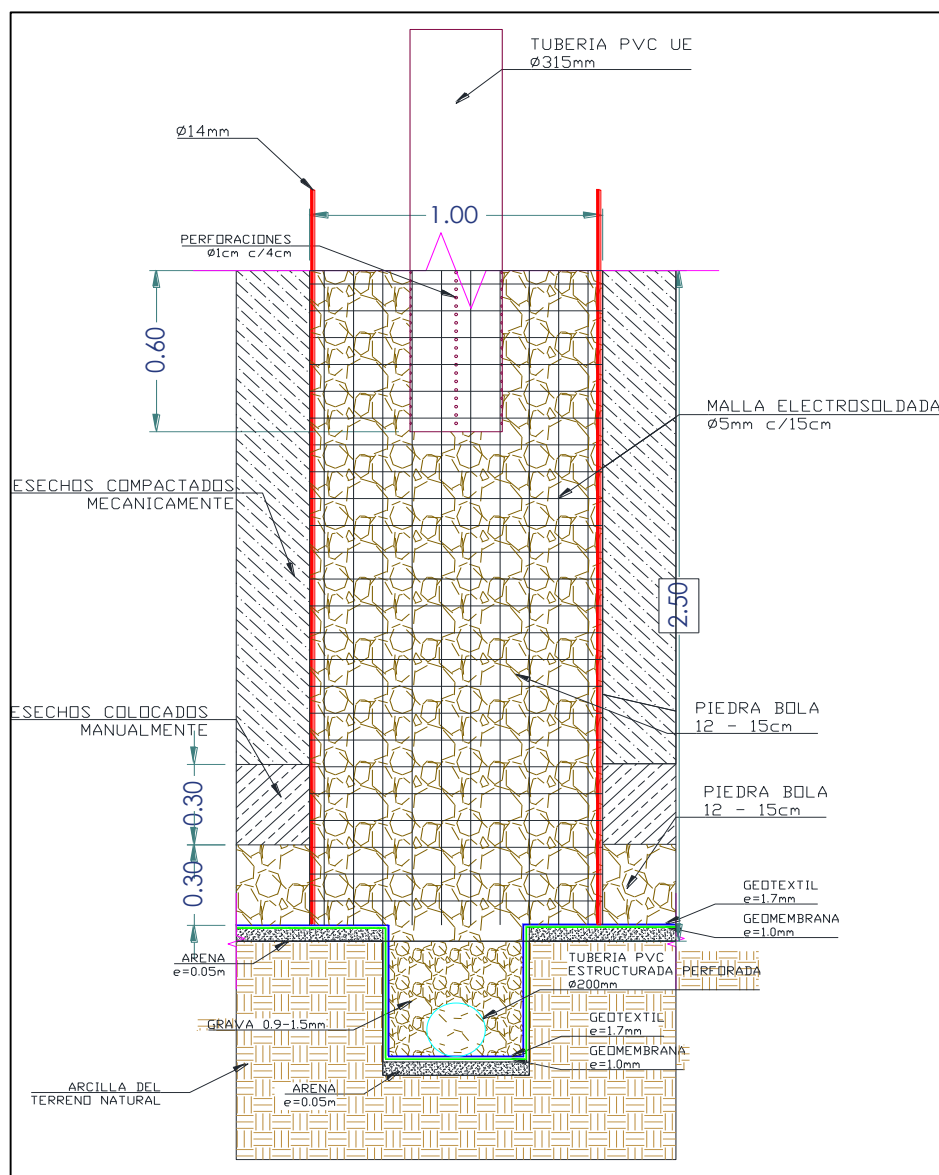


Figura 7.16 Esquema del dren y chimenea en fase de operación
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Al final de la vida útil del proyecto junto con la capa final de cierre, el extremo superior de las chimeneas también deberá sellarse con una loseta de hormigón de 40x40x50cm para aislar los gases generados y evitar fugas. De esta manera las antorchas quedarán

perennes durante los años que el relleno sanitario siga produciendo cantidades considerables de gas.

En el cierre las tuberías de las chimeneas quedaran 1.50m sobre la última capa.

El presupuesto determinado para el presente proyecto y los detalles de construcción se encuentran adjuntos en los anexos.

7.1.1.7. Obras complementarias

7.1.1.7.1. Cerramiento

El cerramiento se compone de columnas de hormigón de 25x25cm y 3 metros de altura apoyadas en plintos asilados excéntricos de 80x80cm, las columnas estarán espaciadas 3 metros y se conectarán por medio de viguetas en la parte superior y riostras en la parte inferior de 20x15cm ambos elementos estructurales. Las juntas se construirán cada 15 metros y la apertura será de 3 cm.

Las paredes se compondrán de bloques de mampostería y la entrada al complejo será por medio de una puerta doble de tubo galvanizado y malla hexagonal, con una abertura de 7m la cual

es suficiente para que los equipos de transporte requeridos puedan realizar las maniobras sin ningún inconveniente.

7.1.1.7.2. Edificio de operación

El acceso al complejo será controlado por un operador encargado de registrar la entrada y salida de los vehículos, así como la cantidad de material que cada vehículo deposita en el complejo.

El edificio de operación se compone de una oficina equipada con equipos y software para el registro de información de vehículos y el pesaje de estos.

También contará con una bodega pequeña para el almacenamiento de herramientas menores.

Además, se instalará una batería sanitaria con sus respectivas instalaciones para el suministro de agua potable y eliminación de aguas residuales, la batería sanitaria contará con baños separados de hombre y mujer equipados con lavamanos, inodoro y ducha para el aseo del personal.

7.1.1.7.3. Vías internas

Todas las vías internas del complejo que comunican el cuerpo de desechos, la laguna de lixiviados y la zona de compost serán vías de tierra con un ancho de 6 metros para facilitar la movilización del equipo operando dentro del complejo.

El área de la planta de reciclaje, la zona de almacenamiento de materiales reciclados, el edificio administrativo y el acceso al complejo se construirán sobre una losa de hormigón, con el objetivo de facilitar las actividades de operación entre la planta de reciclaje, la bodega de almacenamiento, los vehículos que ingresan al relleno a dejar desechos y retirar material de reciclaje, etc.

CAPÍTULO 8

OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

8.1. Recursos técnicos y humanos

8.1.1. Personal de trabajo

El personal necesario para realizar los trabajos en el complejo del relleno sanitario se determinó en base a las recomendaciones de la Guía de diseño de rellenos sanitarios de Loja, en la que se definen el número de trabajadores según las actividades que se le asignen.

El relleno sanitario en cuestión se puede catalogar como un relleno sanitario mecanizado mediano. Por lo tanto, se requiere el personal mostrado en la Tabla CXXXI.

Tabla CXXXI. Personal requerido para la operación del relleno sanitario

Cargo/Actividades	Personal requerido
Jefe del relleno sanitario (ingeniero civil, ingeniero mecánico o experto ambiental)	1
Choferes	3
Obrero auxiliar	2
Guardia/Operador de balanza	1

Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

El jefe del relleno sanitario estará a cargo de la supervisión de los trabajos que se realicen en el complejo, coordinar las actividades y la planificación diaria de los trabajos con el personal del relleno sanitario y la planta de reciclaje, también llevará el control de la

venta de material de reciclaje y compost, así como la importación de material de cobertura de manera que mínimo haya material disponible para una semana de trabajo en todo momento.

El número de choferes se determinó en función del número de equipos y maquinaria pesada que se requiere para la operación del relleno sanitario, para el movimiento de los desechos sólidos desde la planta de reciclaje hacia el frente de trabajo, la carga y transporte del material de cobertura, la colocación y compactación de los desechos en las celdas del relleno sanitario y en el área de producción de compostaje.

Los obreros auxiliares estarán encargados de las actividades de limpieza y mantenimiento de la laguna de lixiviados, construcción de chimeneas de gases, operación de la motobomba para la recirculación de lixiviados.

El guardia del complejo desempeñará sus funciones en la caseta de control, desde donde supervisará la entrada y salida de vehículos y el personal del relleno sanitario, controlará la invasión de animales al complejo y estará encargado de la operación de la balanza de vehículos para llevar el registro de la cantidad y tipo

de desechos que se reciben en el relleno sanitario. En el caso de detectar desechos no autorizados intentando ser depositados en el relleno sanitario, inmediatamente deberá denegar el acceso al vehículo.

8.1.2. Maquinaria y equipos

Para la operación del relleno sanitario de este proyecto se requiere la siguiente maquinaria pesada.

- 1 tractor compactador
- 1 volqueta de 14m³
- 1 volqueta de 5m³
- 1 motobomba de 4"

El tractor compactador se encargará de la preparación del terreno para la construcción de las celdas, colocación y compactación de los desechos y material de cobertura en el frente de trabajo.

Las volquetas se emplearán para el transporte de los desechos desde la planta de reciclaje hasta el frente de trabajo, y el material de cobertura desde el lugar de almacenamiento hasta el frente de trabajo.

La volqueta de 5m³ se dispondrá para el transporte de la materia orgánica recuperada en la planta de reciclaje hacia la zona de producción de compost.

La motobomba se empleará para la recirculación de lixiviados con el objetivo de promover la degradación de los desechos, eliminar los lixiviados por medio de evaporación y evitar el rebose de la laguna de lixiviados.

8.1.3. Balanza de camiones

La balanza de camiones será operada desde el edificio administrativo por el guardia del relleno sanitario, con el objetivo de determinar la cantidad de desechos que ingresan en el relleno sanitario.

El registro de la cantidad de desechos depositados permitirá al jefe del relleno establecer estrategias de operación para analizar implementar nuevas tecnologías de disposición de desechos, evaluar el tiempo de vida útil restante en base a comparaciones con los registros obtenidos y los datos proyectados en el diseño.

8.1.4. Herramientas menores

Para la construcción de las chimeneas, limpieza y mantenimiento de la laguna de lixiviados se emplearán las siguientes herramientas.

- Pala
- Carretilla
- Martillo
- Pico

8.2. Plan de operación

Para dar inicio a las actividades de colocación de los desechos en el relleno sanitario es indispensable que toda la infraestructura esté terminada.

Se requiere determinar un orden lógico en el desarrollo de las actividades al interior del relleno sanitario, de manera que el manejo diario de los desechos sea más eficiente.

8.2.1. Condiciones generales

8.2.1.1. Horario de operación

El relleno sanitario operara en jornadas de 10 horas de lunes a viernes de 8:00 a 18:00 y los sábados de 8:00 a 14:00. Se exceptuarán los de días de feriado y los domingos.

8.2.1.2. Procedencia de los desechos

En el relleno sanitario se recibirán:

- Desechos domiciliarios
- Desechos de demolición
- Desechos de barrido de calles
- Desechos de mercado
- Desechos de parques y jardinería

Los desechos sólidos por depositarse en el relleno sanitario serán únicamente aquellos que provengan de los camiones recolectores definidos por el municipio del cantón San Jacinto de Yaguachi y demás equipos de transporte autorizados.

En el presente proyecto no se ha considerado un método de eliminación de desechos peligrosos y bio peligrosos por lo que no

se aceptarán desechos provenientes de consultorios médicos, hospitales, etc.

Cuando una empresa particular u otra entidad requiera del servicio de disposición de desechos sólidos, se podrá realizar siempre que se evalúe el impacto en el tiempo de vida útil del proyecto y cuando se haya determinado que el tipo de desechos sólidos es apto para su disposición final en el relleno sanitario en cuestión.

Si se determina que los desechos son aptos para depositarse y que el impacto en tiempo de vida útil no es de gran magnitud, el municipio deberá emitir la autorización respectiva para la recepción de los desechos y se encargará de establecer una tasa para el servicio prestado.

8.2.2. Ingreso al relleno sanitario

El guardia del relleno sanitario será el responsable de autorizar el acceso y salida a los vehículos que transportan los desechos y al personal del relleno sanitario.

En la caseta de control se ubicará el puesto de trabajo del guardia del complejo que también será responsable del registro del peso de los camiones. El registro de los vehículos se realizará por medio de un software en el que se incluirá la información concerniente a:

- Nombre de la compañía o municipio
- Fecha y hora de ingreso
- Número de placa del vehículo
- Tipo de desechos (siempre que sean los autorizados)
- Peso del camión al ingresar
- Peso del camión al salir

El tráfico de ingreso y salida se coordinará de tal manera que solo un vehículo a la vez pase por la balanza de camiones.

8.2.3. Descarga de los desechos sólidos

Luego de pasar por la estación de pesaje los camiones serán dirigidos a la zona de descarga de desechos en el interior de la planta de reciclaje donde se ubicará la tolva de recepción. En el interior de la planta de reciclaje, los choferes de los camiones recolectores deberán ser guiados por el personal de la planta

para que realicen de manera efectiva las maniobras de descarga de los desechos.

Los camiones deberán posicionarse en reversa en dirección de la tolva. Con el fin incrementar el número de camiones descargando en la tolva a la vez se pueden posicionar 2 vehículos en paralelo en cada borde de la tolva.

8.2.4. Procesamiento de los desechos sólidos

Una vez que los desechos sólidos sean depositados en la zona de la recepción de la planta de reciclaje, serán procesados por el personal de la planta para la recuperación de papel, cartón, plástico, vidrio y metal. Además, como producto final se obtendrá materia orgánica para la producción de compost y desechos no recuperables que se depositarán en el relleno sanitario.

Los materiales recuperados serán compactados por medio de una prensa hidráulica en forma de prismas cúbicos de dimensiones de 1x0.7x0.5m. Luego de obtenerse los bultos de material compactado estos serán trasladados al galpón anexo a la planta de reciclaje.

8.2.5. Almacenamiento de materiales recuperados

En el interior del galpón de almacenamiento el personal de la planta de reciclaje se encargará de pesar los bultos obtenidos de cada material en la balanza electrónica y llevar un registro de todo el material recuperado. Esto le servirá al supervisor del relleno para establecer indicadores de eficiencia de recuperación, estimar el tiempo que se puede almacenar el material recuperado antes de ser comercializado, analizar medidas para mejorar el procesamiento de los desechos, etc.

El almacenamiento de los bultos se realizará en orden, definiendo áreas específicas para cada material según la producción, es decir conociendo que se espera una mayor recuperación de papel y plástico se otorgará mayor espacio al almacenamiento de estos materiales.

En el interior del galpón de almacenamiento los bultos de material recuperado serán apilados sobre la cara de mayor área 1x0.7m y hasta una altura de 5m, es decir que de cada material se apilaran hasta 10 bultos uno encima de otro.

Los materiales se almacenarán por un tiempo de 15 días en el que se espera obtener cantidades suficiente de material para ser comercializadas. De darse el caso el supervisor puede considerar bajo su criterio aumentar o disminuir el tiempo de almacenamiento según la producción obtenida.

8.2.6. Producción de compost

La materia orgánica extraída de los desechos recibidos en la planta de reciclaje se dispondrá en una plataforma para la producción de compost.

La materia orgánica almacenada en la tolva de materia orgánica en la planta de reciclaje se depositará en una volqueta de 5m³ de capacidad, la volqueta transportará la materia orgánica desde la planta de reciclaje hasta la plataforma de producción de compost.

En la plataforma se la materia orgánica se dispondrá en camellones, este método de producción de compost consiste en elaborar camas o plataformas de 1.5m de altura, 2.5m de ancho y para el caso del área disponible para compost en el complejo la longitud máxima se ha definido en 160m.

Cuando la primera cama de compost se haya completado se procederá a conformar la segunda cama de las mismas dimensiones paralela a la anterior con espaciamiento de 1m para facilitar el desplazamiento del personal trabajando en la plataforma, las demás plataformas se construirán siguiendo la misma metodología.

8.2.7. Plan de construcción del cuerpo de desechos

Para la optimización del proceso de construcción del cuerpo de desechos del relleno sanitario se ha considerado la siguiente estrategia de avance.

Los niveles se dividirán en franjas de 5m de ancho que representan el ancho de la celda diaria, el avance de relleno se realizara desde el punto más alejado de la planta de reciclaje hacia el más cercano como se muestra en la Figura 8.1.

Al finalizar el primer nivel se construirá un muro perimetral de material de cobertura de 1.8m de altura y talud 2:1 para el confinamiento de las celdas terminadas. Los demás niveles seguirán la misma metodología de construcción.

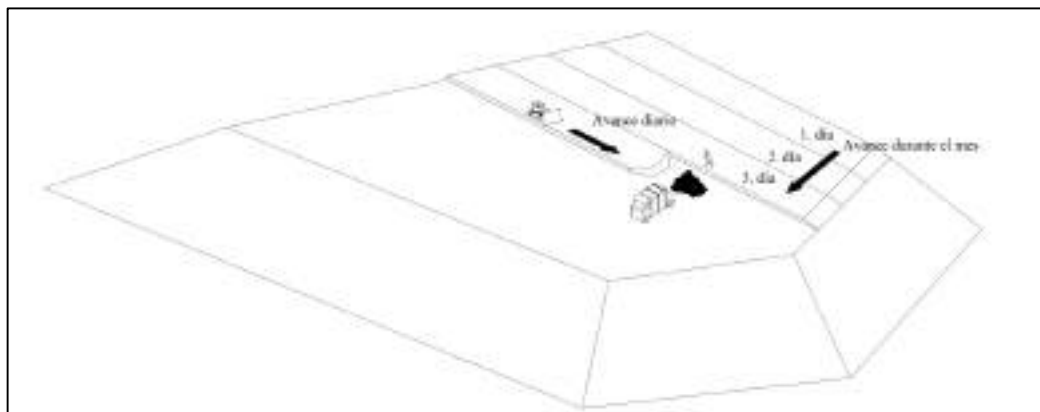


Figura 8.1 Avance de construcción del cuerpo de desechos
Fuente: Rodríguez, O., Condoy, A., 2017.

Conforme se vayan terminando los niveles se dará inicio a la construcción de las rampas de acceso de 8m de ancho con pendiente del 8%, que permitan a las volquetas llegar al frente de trabajo de los diferentes niveles durante la vida útil del proyecto.

8.2.8. Construcción de las celdas diarias

Los desechos no recuperables se depositarán en el relleno sanitario, empleando 1 volqueta de 14m³, la volqueta será cargada en la planta de reciclaje a través de una tolva de almacenamiento de los desechos procesados. El material de desecho será transportado hacia el frente de trabajo en donde procederá a verter los residuos.

El tractor compactador procederá a esparcir los desechos en el frente de trabajo según las dimensiones de las celdas indicadas

en la sección 7.1.1.1;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los residuos deberán disponerse en capas de 30cm con un ancho de 5m y taludes 1:1 hasta alcanzar una altura de 1.5m. La longitud de la celda será variable según la producción de desechos diaria.

El operador del tractor debe encargarse de pasar mínimo 20 veces sobre cada capa de desechos de 30cm antes iniciar la colocación de la siguiente capa de 30cm y así sucesivamente hasta alcanzar 1.5m de altura. El número de pasadas mínimo es indispensable para garantizar la compactación de los desechos colocados.

8.2.9. Material de cobertura diario

Cuando se haya alcanzado el avance diario programado para la construcción de la celda, esta deberá ser cerrada puesto que bajo ningún concepto pueden quedar desechos al descubierto.

La adquisición del material de cobertura estará a cargo del jefe del relleno sanitario, quien deberá asegurar la disponibilidad del material de cobertura en el frente de trabajo mínimo para dos días en todo momento, y en el interior del complejo en el área que el

jefe del relleno sanitario dispondrá deberá almacenar material de cobertura mínimo para una semana de trabajo.

El material de cobertura se dispondrá en una capa de 15cm de espesor sobre todas las caras de la celda conformada. Para la capa de cobertura el operador del tractor también deberá realizar 20 pasadas mínimo.

8.2.10. Control de lixiviados

Para evitar la colmatación de la laguna de lixiviados se deberán remover los sedimentos arrastrados, el material removido podrá ser usado como material de cobertura diario para el cierre de las celdas.

Durante la época lluviosa en la que se producirán mayores cantidades de lixiviados, el nivel del espejo de agua deberá supervisarse frecuentemente para evitar que la capacidad de la laguna sea superada.

En el caso que se presente el riesgo de superar la capacidad de la laguna, se ordenará la puesta en marcha de la motobomba

para recircular el lixiviado a través del cuerpo de desechos y aumentar la cantidad de lixiviados eliminada por evaporación

8.2.11. Control de gases

Los gases generados en el relleno sanitario se eliminarán por medio de su combustión a través de chimeneas en las que se instalara un mechero en la parte superior.

Las chimeneas deberán construirse progresivamente según el avance de la construcción del cuerpo de desechos puesto que el incremento en altura se dará a lo largo del periodo de vida útil del proyecto.

Inicialmente se construirán las chimeneas con una altura de 2.50 metros, de manera que cuando el primer nivel sea terminado las chimeneas sobresalgan 70cm a partir de la capa de cobertura.

El jefe del relleno sanitario deberá gestionar la adquisición del material necesario para la construcción progresiva de las chimeneas, de tal manera que los obreros puedan continuar levantando las chimeneas sin retrasos.

Es decir, cierto tiempo antes; según el criterio del jefe del relleno sanitario, que se termine de construir el primer nivel del cuerpo de desechos, deberá iniciarse la construcción de la siguiente etapa de las chimeneas para que el operador del tractor pueda continuar compactando desechos inmediatamente después de finalizar el primer nivel. La metodología se repite cada que se termine un nivel.

Los puntales de las chimeneas se colocarán guardando 30cm de traslape para asegurar la estabilidad de las chimeneas. Cada que se realice la ampliación de las chimeneas, la instalación de los mecheros en los extremos superiores deberá desinstalarse y luego volver a ser colocadas para continuar con la quema de los gases producidos.

Antes de iniciar las actividades de construcción de chimeneas, el jefe del relleno sanitario deberá supervisar que el personal cuente con el equipo adecuado para su protección, puesto que los gases pueden afectar la salud de los obreros.

8.3. Clausura del relleno sanitario

Cuando el proyecto haya alcanzado el final del periodo de vida útil se procederá a la clausura definitiva de los niveles con la capa de cobertura de cierre según se indica en la sección 7.1.1.2.

En el cierre del relleno sanitario, se mantendrán las chimeneas durante algunos años hasta que se deje de generar gas. El resto de la infraestructura como la planta de reciclaje, los galpones y la balanza de vehículos se pueden trasladar hacia el nuevo relleno sanitario de ser necesario.

Luego del cierre es importante monitorear el cuerpo de desechos en busca de hundimientos, derrumbes, fuga de gas, colmatación de la laguna de lixiviados, entre otros problemas que puedan afectar la estabilidad e integridad estructural del cuerpo de desechos.

CAPÍTULO 9

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

9.1. Antecedentes

El presente capítulo hace referencia al Estudio de Impacto Ambiental para el Proyecto de Relleno Sanitario del cantón Yaguachi. Dicho estudio permite identificar y evaluar los distintos tipos de impactos ambientales generados por la obra y a su vez prevenir los posibles daños al ecosistema y a la población cercana a la obra.

Para prevenir, disminuir o eliminar los daños ocasionados por la construcción del relleno sanitario se realizarán medidas de mitigación, con el fin de garantizar un ambiente libre de contaminantes.

Los procesos correspondientes al manejo ambiental deben cumplir con lo estipulado en el Texto Unificado de la Ley Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).

9.2. Descripción general del área de estudio

La información correspondiente a esta sección esta detallada en el capítulo 2 del proyecto.

9.3. Descripción de la línea de base

Al realizar la construcción del relleno sanitario los elementos que conforman la zona como: agua, aire, flora, fauna, suelo y las personas

pueden verse afectados por esta actividad, por lo que es necesario un análisis de los impactos que puede tener esta obra sobre ellos.

9.3.1. Aire

El aire será contaminado por contaminado por la generación de polvo que se producirá al remover la capa vegetal y la circulación de vehículos y maquinaria pesada. Además, habrá las emisiones de dióxido de carbono por parte de la maquinaria.

Otro impacto que tendrá el sitio es la generación de ruido producido por la maquinaria pesada, vehículos livianos, combos, etc.

9.3.2. Agua

El nivel freático de la zona es poco profundo por lo que puede verse afectado por las infiltraciones del agua usada para las mezclas en la construcción de las obras complementarias del relleno.

En cuanto a las aguas superficiales, existe un canal cerca de la zona que ya se encuentra afectado por las descargas de una industria y dicho canal puede verse aún más afectado por los

posibles derrames de aceites, lubricantes, gasolina de las maquinas.

9.3.3. Suelo

El suelo se puede ver afectado por los desechos sólidos generados por la construcción del relleno sanitarios, los derrames de lubricantes, gasolina, aceite, pintura, etc.

9.3.4. Factor biológico

Al remover la capa vegetal se está afectado a la flora del lugar al igual que la fauna que existe en ella, pero no existe mayor riesgo para estos factores.

9.3.5. Factor socioeconómico

La construcción del relleno sanitario provocará la generación de empleo tanto de manera local como provincial, sin embargo, producirá molestias a la población cerca debido a la generación de polvo, ruido de la maquinaria pesada, emisiones de gases riesgo al incremento de enfermedades

9.4. Descripción de las actividades a evaluar

En fase de construcción:

- Remoción de capa vegetal
- Carga y transporte de material
- Construcción de terraplén
- Construcción de lagunas de lixiviados
- Construcción de planta de reciclaje
- Construcción de chimeneas
- Construcción de obras complementarias

En fase de operación

- Funcionamiento de chimeneas
- Compostaje
- Trabajos de colocación de basura
- Circulación de vehículos
- Lagunas de lixiviados

En fase de cierre del proyecto

- Colocación de capa de cobertura

9.5. Evaluación de impacto ambiental

En la etapa de construcción se evaluará los impactos positivos y negativos que se tendrán sobre el sitio, usando distintas matrices de

evaluación del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) las cuales serán descritas a continuación.

9.5.1. Matriz de intensidad

La matriz intensidad evalúa la fuerza con la que se manifiesta el impacto a causa de la obra. Su valor numérico varía entre 1 a 10, donde 10 es el valor que indica que hay un cambio irreversible, 1 significa que el cambio tiene un mínimo impacto ambiental y 0 impactos ambientales imperceptibles.

9.5.2. Matriz extensión

Esta matriz evalúa la afectación directa o indirecta del terreno donde se da el proyecto. Dónde: 10 representa los impactos ambientales regionales, 5 impactos ambientales locales, 1 los impactos ambientales puntuales y 0 se considera que no hay impactos ambientales.

9.5.3. Matriz de duración

Evalúa el periodo o tiempo en años que dura la acción que genera impacto ambiental. Donde el valor indicativo de (10) es para impactos ambientales mayores a 10 años, (5) para impactos

en un lapso de 5 a 10 años, (1) para impactos menores a 5 años y (0) para impactos ambientales imperceptibles.

9.5.4. Matriz de Signo o de bondad de impacto

La matriz de signo evalúa los impactos ambientales positivos y negativos, donde: +1 representa impactos ambientales positivos, -1 significa impactos ambientales negativos y cero que no existe impacto.

9.5.5. Matriz de magnitud

El valor de la presente matriz está dado por la siguiente formula

$$M = (MS * MI * FI) + (ME * FE) + (MD * FD) \quad (\text{ec. 9.1})$$

Matrices

MS: Matriz de signo

MI: Matriz de intensidad

ME: Matriz de extensión

MD: Matriz de duración

Factores

FI: Factor de intensidad, 0.66

FE: Factor de extensión, 0.24

FD: Factor de duración, 0.1

9.5.6. Matriz de Reversibilidad

Cuantifica la posibilidad del entorno de retomar su estado inicial o equivalente. A continuación, se detallarán los valores:

Impactos irreversibles, 10

Impactos reversibles a largo plazo, 8

Parcialmente reversibles, 5

Altamente reversible, 1

9.5.7. Matriz de riesgo

Evalúa la probabilidad de ocurrencia del impacto, donde: los impactos con una alta probabilidad de ocurrencia tienen un valor indicativo de 10, impactos con probabilidad media tiene un valor de 5 y los impactos de baja probabilidad tiene un valor de 1.

9.5.8. Matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A)

La matriz de valoración de impacto ambiental se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$VIA = |MM|^{fm} * (MR^{fr}) * (MRI^{fi}) \quad (\text{ec. 9.2})$$

MM: Matriz de magnitud

MR: Matriz de reversibilidad

MRI: Matriz de riesgo

fm: factor de matriz de magnitud, 0.28

fr: factor de reversibilidad, 0.32

fri: factor de riesgo, 0.42

9.5.9. Rango de significancia de la matriz V.I.A

Esta matriz evalúa cualitativamente los impactos que tendrán las actividades descritas anteriormente sobre los componentes ambientales.

Tabla CXXXII. Valores de significancia de la matriz V.I.A.

Nivel	Rango
Alto	7 – 10
Medio	4 – 7
Bajo	1 – 4
Neutro	0

Fuente: Rodriguez, O., Condoy, A., 2017.

Análisis de la matriz V.I.A

Fase de construcción

De acuerdo con los resultados de la matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A) la actividad que genera mayor impacto sobre el medio ambiente es la remoción de capa vegetal y el recurso más afectado debido a la actividad antes mencionada es el suelo.

Fase de operación

De acuerdo con los resultados de la matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A) la actividad que genera mayor impacto sobre el medio ambiente es los trabajos de colocación de basura y los recursos más afectados debido a la actividad antes mencionada son el suelo y la fauna.

Fase de cierre del relleno sanitario

De acuerdo con los resultados de la matriz de Valoración de Impacto Ambiental (V.I.A) la única actividad que genera impacto sobre el medio ambiente colocación de capa de cobertura y el recurso más afectado debido a la actividad antes mencionada es el suelo.

9.6. Plan de Manejo Ambiental

En la etapa constructiva de una obra se debe cumplir una serie de normas de seguridad tanto industriales como ambientales, con el fin de garantizar la seguridad de las personas que laboran en la construcción y la población cercana al sitio incluyendo su flora y fauna.

Por lo cual a continuación se detallan los parámetros que deben seguir los encargados de obra y los obreros, además de las medidas de mitigación que se deben realizar en la fase constructiva para contrarrestar los impactos negativos sobre los componentes del medio ambiente.

9.6.1. Encargados de obra

Usar casco de seguridad y chaleco durante toda la estancia en la obra.

Uso de mascarilla

Utilización de guantes y orejeras

9.6.2. Obreros

Todo el personal debe poseer los equipos de seguridad pertinentes para su seguridad.

En actividades que impliquen riesgos de caer, los trabajadores obligatoriamente deben usar arnés de seguridad desde una altura mínima de 3m.

Colocación de guantes en actividades donde haya riesgo de lastimarse las manos.

En presencia de material particulado debido a las actividades de trabajo se debe usar mascarillas.

Utilización de orejeras y tapones de oído para evitar problemas auditivos a causa del ruido de las máquinas.

9.6.3. Área perimetral de la obra

Se debe instalar y ubicar correctamente conos, cintas u otros elementos de seguridad para que personas que transiten por los alrededores de la obra no tengan ningún incidente.

Como medidas de mitigación a los impactos generados por la realización de la obra, se plantea lo siguiente:

Excavación

- Mientras se realiza la excavación humedecer el terreno a cierta profundidad, para evitar la generación de polvo.
- Los contratistas tienen la obligación de presentar las inspecciones reglamentarias de su maquinaria pesada y vehículos livianos, a su vez, que estos deben cumplir con la legislación vigente referente a emisiones de gases y ruido.
- Los equipos utilizados deben tener un chequeo y mantenimiento periódico.

Hormigonado

- Los contratistas tienen la obligación de presentar las inspecciones reglamentarias de su maquinaria pesada y

vehículos livianos, a su vez, que estos deben cumplir con la legislación vigente referente a emisiones de gases y ruido.

- Los equipos utilizados deben tener un chequeo y mantenimiento periódico.
- Se determinarán zonas específicas para el lavado de las cubetas de hormigón y no deben estar cerca de los cauces.
- No verte aguas contaminadas a cauces públicos

Mampostería

- Reutilizar los residuos generados por la colocación de mampostería.
- No verte aguas contaminadas a cauces públicos.
- El uso de suelo para el desarrollo de la obra debe ser mínimo y no ocupara mayor área que la prevista para el proyecto.
- Debe haber una correcta señalización de los caminos y de las áreas de la obra.
- En caso de derrames accidentales de cualquier producto se proyecta colocar canecas en los frentes de obra.
- Construcción y mantenimiento de sistema de drenaje.

Además, como medida de mitigación brindar charlas de sensibilización sobre temas: ambientales, seguridad industrial, sociales y salud ocupacional cada tres meses.

CAPÍTULO 10

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Debido a que prácticamente todas áreas que se tienen en el sector de Yaguachi son inundables, debido a la baja cota que poseen se plantea como solución fundamental construir un terraplén de 1.5m de altura con materiales obtenidos del dragado del río Yaguachi.

Mediante la solución planteada para construir el terraplén, se está generando una solución para el control de inundaciones de la población de Yaguachi.

De las alternativas evaluadas se seleccionó la alternativa 1 por ser la de menor impacto ambiental y considerar el mayor porcentaje de materiales reciclables a recuperar, esta alternativa toma en cuenta la recuperación de papel, plástico y metal. También incluye la producción de compost a partir de los desechos orgánicos y la disposición final de los residuos no recuperables en un cuerpo de desechos piramidal.

El sitio en el que se desarrollará el proyecto presenta aptitudes excelentes para abarcar un proyecto de saneamiento ambiental de estas características, debido a que de la evaluación realizada bajo los criterios de la sección 2.11 se obtuvo la calificación de 82.2 puntos.

Las celdas diarias se construirán de 5m de ancho, 1.5m de altura con sección transversal trapezoidal y taludes 1:1. El material de cobertura se aplicará en capas de 15cm de espesor y se conformarán taludes 2:1 en el cierre de las celdas.

El cuerpo de desechos del relleno sanitario tendrá 25,25m de altura conformadas por 15 niveles o terrazas de 1,65m de altura, las terrazas estarán delimitadas por taludes 2:1, bermas de 4 metros de ancho en cada nivel y cada 3 niveles la berma será de 8 metros de ancho.

En la disposición final se contará con suficiente almacenamiento para 692740m³ de desechos sólidos netos.

Debido a la cantidad estimada de gases producidos por la descomposición de los desechos en el relleno sanitario, se seleccionó el método de incineración por medio de mecheros para el control de emisiones de los gases generados.

Para el manejo de los lixiviados se concluyó que el método de manejo óptimo es la eliminación por evaporación, en el caso de presentarse el riesgo de desborde de la laguna de lixiviados a causa de la precipitación

los lixiviados serán recirculados y esparcidos sobre los desechos sólidos colocados en el relleno.

Se ha contemplado en el diseño del relleno sanitario que la laguna de lixiviados tenga 80cm de profundidad, el espejo de agua se limitará a 30cm sobre el fondo de la laguna para garantizar la evaporación de los lixiviados y se proveerá 50cm de borde libre.

RECOMENDACIONES

Se debe incrementar progresivamente durante el periodo de vida útil la producción de compost, de manera que se disminuya la cantidad de desechos sólidos depositados en el cuerpo de desechos del relleno sanitario, esta medida afectara directamente la vida útil del relleno sanitario de manera positiva. Ya que cuantos menos desechos recuperables sean dirigidos a la disposición final en el cuerpo de desechos sólidos, mayor será la capacidad del relleno sanitario.

Todos los proyectos relacionados al manejo de desechos sólidos a futuro son recomendables que se desarrollen en los alrededores del relleno sanitario diseñado en este proyecto ya que, si se opta por incurrir en la inversión necesaria para la implementación de una planta de reciclaje, los siguientes proyectos relacionados al manejo de desechos contarán con las instalaciones requeridas para la clasificación y almacenamiento de desechos recuperables.

Durante la fase de operación es conveniente prestar especial atención a los lixiviados depositados en la laguna en la época lluviosa, de manera que se pueda ordenar la recirculación de los lixiviados producidos y prevenir el desborde de la laguna.

Se sugiere un estudio detallado del cauce del río Yaguachi para determinar la ubicación de los puntos de dragado del fondo del río e incrementar la eficiencia de la solución planteada para la mejora de las condiciones hidráulicas y la disminución del riesgo de inundaciones.

Se necesita evaluar con frecuencia la cantidad de material recuperado por el personal de la planta de clasificación de residuos sólidos para determinar la eficiencia de recuperación y analizar la implementación de nuevas tecnologías que incrementen el porcentaje de recuperación.

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

COPARM. (2017). Recuperado el 10 de octubre de 2017, de Plantas Clasificadoras de Residuos Sólidos: <http://coparm.net/sorting-plants/>

FORBO. (2017). Recuperado el 20 de noviembre de 2017, de Movement Systems: <https://www.forbo.com/corporate/en-gl/about/forbo-movement-systems/product-offering/pb4su7>

GAD Municipal de San Jacinto de Yaguachi. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. San Jacinto de Yaguachi: Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Garrido, M. S. (2014). Diseño del Complejo Ecológico para el Manejo Integral de Residuos Sólidos de la Maconmunidad Formada por el Cantón Las Naves y la Parroquia San Luis de Pambil en la Provincia de Bolívar. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito.

GRS SZANTO. (2017). Recuperado el 20 de octubre de 2017, de Portafolio de Proyecto: <http://grs.cl/portfolio-item/qrewr/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). Recuperado el 10 de octubre de 2017, de Ecuador en Cifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>

Jaramillo, J. (2002). Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Mavin Colombia SAS. (2017). Recuperado el 2 de noviembre de 2017, de Básculas Plataforma: <http://www.mavincolombia.com/basculas-plataforma.html>

Ministerio del Ambiente. (2014). Recuperado el 10 de octubre de 2017, de Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>

Organización Panamericana de la Salud. (2002). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos. Quito: Organización Panamericana de la Salud.

Ormaza, E. L. (2014). Diseño de una Planta Clasificadora de Residuos Sólidos Urbanos para la Empresa Pública Municipal Mancomunada del Pueblo Cañari de los Cantones: Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal. Universidad Politecnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica, Cuenca.

Panero, J. (1996). Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores. Naucalpan, Mexico: Gustavo Gili.

Röben, E. (2002). Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Loja: Dirección de Higiene.

Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). Manual para la Elaboración de Compost. Montevideo: Organización Panamericana de la Salud.

Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). Handbook of Solid Waste Management. New York, USA: McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1994). Gestión Integral de Desechos Sólidos. Madrid, España: McGraw-Hill.