

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**Evaluación y optimización del diseño de infraestructura
para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno
sanitario de Huamanga - Ayacucho, 2019**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:
Bach. Yoel LUQUE MENDEZ

ASESOR:
Msc. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN

AYACUCHO - PERÚ

2020

EVALUACION Y OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA
PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RELLENO
SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019 .

RECOMENDADO : 10 DE ENERO DEL 2020

APROBADO : 16 DE ENERO DEL 2020



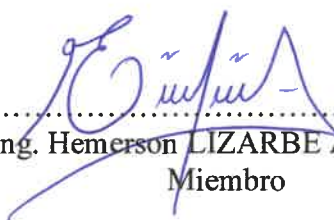
.....
Dr. Efraín Elías PORRAS FLORES
Decano



.....
Msc Ing. Ángel Hugo VÍLCHEZ PEÑA
(Presidente)(e)



.....
Msc Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Miembro



.....
Msc Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN
Miembro

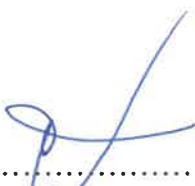


.....
Arq. Juan Carlos SANCHEZ PAREDES
Secretario Docente

Según el acuerdo constatado en el Acta, levantado el día jueves 16 de enero del año 2020, en sustentación de tesis profesional presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil sr. Yoel LUQUE MENDEZ, con la tesis titulado **“EVALUACION Y OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019”**, fue calificado con la nota de **DIECISEIS (16)** por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.

RECOMENDADO : 10 DE ENERO DEL 2020

APROBADO : 16 DE ENERO DEL 2020



.....
Dr. Efraín Elías PORRAS FLORES
Decano



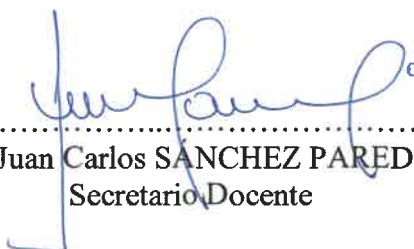
.....
Msc Ing. Ángel Hugo VILCHEZ PEÑA
(Presidente)(e)



.....
Msc Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO
Miembro



.....
Msc Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN
Miembro



.....
Arq. Juan Carlos SANCHEZ PAREDES
Secretario Docente

Resumen

En el presente trabajo de investigación se realizó la evaluación y optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos del relleno sanitario de Huamanga. Comprende una primera etapa de diagnóstico donde se evaluó el sistema de manejo y tratamiento de los residuos sólidos, las características y parámetros de diseño de la infraestructura. En una segunda etapa se establece puntualmente la alternativa de optimización de diseño para el horizonte estimado de 10 años, para lo cual se obtuvo parámetros de diseño reales determinadas en campo, como son: generación de residuos sólidos municipales (798,659.2 t), residuos sólidos aprovechables (3.5%), y confinamiento de residuos sólidos en las celdas de disposición final, esta última depende de varios indicadores como son: densidad compactada de residuos sólidos (0.706 kg/m^3), densidad estabilizada de residuos sólidos (0.784 kg/m^3), y porcentaje de material de cobertura (35.19 %). A partir de estos parámetros se determinó el volumen de almacenamiento de la infraestructura de disposición final ($1'417,077.49 \text{ m}^3$).

En esta investigación para la capacidad proyectada de $1'110,699 \text{ m}^3$ de volumen de almacenamiento, se encontró una vida útil de 11.50 años para el diseño evaluado del relleno sanitario; y se determinó un tiempo de vida útil de 8.14 años mediante la optimización del diseño de infraestructura, así también de la infraestructura construida existente que es la terraza N°03, que fue proyectada para un tiempo de vida útil de 4.09 años; se determinó que solo tendrá 2.85 años de vida útil, sin embargo hasta el mes de octubre del año 2019 ya han transcurrido 1.05 años, es decir un avance de uso del 33.66%, quedando así 1.80 años de vida útil para prestar el servicio de disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho; el cual no cumplen como se menciona en el expediente técnico. Finalmente se propone una mejora del frente de trabajo de una longitud mínima de 20.0 m, para una adecuado conformación de celda diaria y funcionamiento del relleno sanitario.

Palabras clave: residuos sólidos, relleno sanitario, vida útil.

Abstract

In this research work, the evaluation and optimization of the Infrastructure design for the treatment of solid waste from the Huamanga landfill was carried out. It includes a first diagnostic stage where the current management and treatment system for hazardous waste, the characteristics and parameters of infrastructure design are evaluated. In a second stage, the design optimization alternative is established on time, for which real design parameters determined in the field are obtained, such as: municipal solid waste generation (798,659.2t), amount of solid waste usable (3.5%), and confinement of solid waste in final disposal cells, this last dependence on several indicators such as: compacted density of solid waste (0.706kg/m^3), stabilized density of solid waste (0.784kg/m^3), and percentage of coverage material (35.19%). From these parameters the storage volume of the final disposal infrastructure is determined ($1,417,077.49\text{ m}^3$).

In this investigation for the projected capacity of $1,110,699\text{m}^3$ of storage volume, a useful life of 11.50 years was found for the evaluated design of the landfill; and a useful life of 8.14 years was determined through the optimization of the infrastructure design, as well as the built infrastructure that is the terrace No. 03, which was projected for a useful life of 4.09 years; It was determined that it will only have 2.85 years of useful life, however, until October of this year 2019, 1.05 years have passed, that is, an advance of use of 33.66 %, leaving only 1.80 years of useful life to provide the disposal service municipal solid waste final of the city of Ayacucho. Which is not specified as mentioned in the technical file. Finally, an improvement of the working front of a minimum length of 20.0 m is proposed, for an adequate daily cell conformation and operation of the landfill.

keywords : solid waste, landfill, shelf life.

Introducción

Un relleno sanitario es un método de disposición final de los residuos sólidos en el suelo mediante técnicas constructivas que confinen los residuos en la menor área posible, compactándolas para reducir su volumen y luego cubrirlas diariamente con una capa de tierra, con ello se busca reducir los impactos ambientales y sanitarios en la disposición final de los residuos. El cual se encuentra enmarcado en el ámbito de las competencias de la Ingeniería Civil, que son el de diseño, funcionamiento y operación, pues el objetivo de nuestra profesión es la construcción de obras civiles para el bienestar de la humanidad.

La importancia de esta investigación, es que en este tipo de proyectos de tratamiento de residuos sólidos municipales; inciden directamente en la calidad de vida de sus habitantes. por ello es importante realizar un adecuado diseño, mas aún que este tipo de infraestructuras se rigen en estimaciones de capacidad de almacenamiento por un determinado tiempo de vida útil que según la normativa vigente no pueden ser menores a 5 años, por la complejidad del estudio de selección de sitio y los costos de construcción, operación y mantenimiento.

Ademas que toda actividad humana referida al tema de producción de residuos sólidos municipales; debe consider resaltar, valorar y preservar nuestro ambiente sin contaminarlo. Siendo uno de los principios mejorar en forma continua la gestión integral de los residuos sólidos en su disposición final mediante los parámetros ingenieriles de construcción y operación, basados en la normativa nacional vigente así como internacional.

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y cada vez son mucho más, asociado al incremento de la población humana, y a los hábitos de consumo de los individuos. En la actualidad se ha tratado de buscar solución a éste problema, implementado la gestión integral de residuos sólidos, de la cual hace parte una integralidad de procesos que van desde: separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), hasta la transformación de los que permiten éste proceso o a la disposición final de los que no se pueden reciclar. Para este tipo de tratamientos se requiere infraestructuras

de valorización y disposición final de residuos sólidos que se realizan en un relleno sanitario. Para el diseño de este tipo de infraestructuras se realiza a través de una estimación a largo plazo, basados en el conocimiento de parámetros técnicos y utilizando indicadores como recolección, confinamiento y cobertura. Las partes que acompañan y concretan el presente trabajo de investigación se divide en los siguientes cinco capítulos.

En el capítulo I, es referido concerniente al planteamiento del problema, de la investigación donde se describe la realidad problemática del relleno sanitario, entorno al sistema de tratamiento de los residuos sólidos en la cual se formula el problema: ¿De que manera optimizar el diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga?. Planteándose como objetivo general: Evaluar y optimizar el diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga, siendo así la hipótesis general: la optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, permitió determinar el tiempo de vida útil real y un funcionamiento adecuado del relleno sanitario de Huamanga.

El capítulo II, referido al marco teórico, se presentan las bases teóricas y normativas referidos al diseño de infraestructuras de rellenos sanitarios.

En el capítulo III, contiene el método de la investigación, donde referimos el enfoque descriptivo comparativo de la presente investigación y tiene como alcance aspectos para contribuir a la ingeniería civil.

En el capítulo IV, se presenta los resultados de la investigación del presente proyecto. El análisis de los resultados, donde se realiza la prueba de la hipótesis, generando tablas y gráficas para la mejor toma de decisiones.

El capítulo V, contiene las conclusiones y recomendaciones y trabajos futuros.

Finalmente se presentan las referencias bibliográficas de las literaturas consultadas citados durante el desarrollo de la investigación y anexos: contiene información complementaria como son matriz de consistencia, panel fotográfico, fichas de registro de datos, memorias de cálculos, reportes de ensayos, acervo documentario y planos.

A mis Padres Marcelino y Claudia por su apoyo incondicional, para formarme como profesional.

A Alina y Yhael por ser ambos mi motor y motivo del día a día.

Agradecimientos

Al Msc.Ing. Hemerson Lizarbe Alarcón, asesor de la presente tesis, por sus sugerencias, recomendaciones y apreciaciones para la formulación del presente trabajo de investigación.

A mis jurados el Msc.Ing. Ángel Hugo Vilchez Perez y Msc.Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, por todo el apoyo y consejos brindados durante la revisión de este trabajo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.

Finalmente, a mis amigos Carlos, Wilmer, Paul y demás compañeros de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga que me acompañaron toda la vida universitaria; igualmente al Ing. Elvis Chuchón García Coordinador del relleno sanitario de Huamanga por brindarme las facilidades de acceso a las instalaciones de esta infraestructura y todos las personas que contribuyeron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, ENERO DEL 2020

YOEL LUQUE MENDEZ

Índice general

Resumen	ii
Introducción	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Índice general	viii
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xv
Glosarios	xix
Lista de acrónimos	xxii
Símbolos	xxiii

Capítulo I

Planteamiento del problema	1
1.1. Descripción del problema..	1
1.1.1. Descripción del problema mundial.	1
1.1.2. Descripción del problema en el país.	3
1.1.3. Descripción del problema en la región.	3
1.2. Delimitación del problema.	5
1.2.1. Espacial(geográfica).	5
1.2.2. Temporal.	5
1.2.3. Temática y unidad de análisis.	5
1.3. Formulación del problema.	5
1.3.1. Problema general..	6
1.3.2. Problemas específicos.	6
1.4. Justificación e importancia.	6
1.4.1. Justificación.	6
1.4.2. Importancia.	6
1.5. Limitaciones de la investigación.	7
1.5.1. Objetivo general.	7
1.5.2. Objetivos específicos.	7

Capítulo II

Marco teórico.	8
2.1. Antecedentes.	8
2.1.1. Investigaciones internacionales.	8
2.1.2. Investigaciones nacionales.	9
2.2. Bases teóricas.	10
2.3. Marco conceptual.	15
2.3.1. Rellenos sanitarios.	15
2.3.1.1. Clasificación de rellenos sanitarios.	16
2.3.1.2. Componentes de un relleno sanitario.	16
2.3.1.3. Impactos al medio ambiente de los rellenos sanitarios.	18
2.3.2. Diseño de un relleno sanitario.	20
2.3.2.1. Vida útil de un relleno sanitario.	21
2.3.2.2. Selección del método.	21
2.3.3. Residuos sólidos.	22
2.3.3.1. Humedad	23
2.3.3.2. Densidad	24
2.3.4. Infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos	27
2.3.4.1. Estudio de selección de sitio.	27
2.3.4.2. Estudios básicos de diseño.	28
2.3.4.3. Control y monitoreo ambiental.	37
2.4. Marco normativo.	39
 Capítulo III	
Método de la investigación	43
3.1. Enfoque	43
3.2. Alcance	44
3.3. Diseño de investigación.	44
3.4. Población y muestra	45
3.4.1. Población	45
3.4.2. Muestra del estudio	45
3.5. Hipótesis	45
3.5.1. Hipótesis general	45
3.5.2. Hipótesis específicas	45
3.6. Operacionalización de variables	46
3.6.1. Variables.	46
3.6.2. Indicadores.	46

3.7. Técnicas e instrumentos	47
3.7.1. Técnicas	47
3.7.1.1. Técnicas de gabinete	47
3.7.1.2. Técnicas de campo	47
3.7.2. Instrumentos	47
3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	48
3.9. Desarrollo del trabajo de tesis	48
3.9.1. Identificación de la zona de estudio	48
3.9.2. Descripción del lugar de estudio	49
3.9.2.1. Topografía	49
3.9.3. Metodología	50
3.9.4. Descripción y diagnóstico del servicio de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales	50
3.9.4.1. Descripción y diagnóstico del servicio de manejo de los residuos sólidos municipales	50
3.9.4.2. Descripción y diagnóstico del servicio de tratamiento de los residuos sólidos municipales:	63
3.9.5. Proceso de recolección de datos de campo y laboratorio	76
3.9.5.1. Identificación de parámetros y obtención de datos	76
3.9.5.2. Ensayo de la densidad compactada de residuos en campo	76
3.9.5.3. Ensayo de la cantidad de material de cobertura utilizado	80
3.9.5.4. Ensayo de la densidad estabilizada de residuos en campo	83
3.9.5.5. Análisis de la humedad de residuos estabilizados en laboratorio ...	86
3.9.6. Metodología y procedimiento de evaluación de diseño de infraestructura existente	87
3.9.6.1. Diseño evaluado	89
3.9.6.2. Diseño optimizado	98
Capítulo IV	
Resultados	122
4.1. Constrastación de la hipótesis	122
4.1.1. Hipótesis general	122
4.2. Análisis e Interpretación	125
4.2.1. Sobre el diagnóstico del servicio de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales	125
4.2.1.1. Servicio de manejo de residuos sólidos municipales	125

4.2.1.2. Infraestructura de tratamiento de residuos sólidos municipales. . . .	126
4.2.2. Sobre recolección de datos en campo y laboratorio.	127
4.2.2.1. Ensayos de densidad compactada.	127
4.2.2.2. Ensayos de material de cobertura.	128
4.2.2.3. Ensayos de densidad estabilizada.	130
4.2.2.4. Ensayo de humedad.	131
4.2.3. Sobre la evaluación y optimización del diseño de infraestructura de tratamiento de residuos sólidos.	131
4.2.3.1. Generación de residuos.	131
4.2.3.2. Confinamiento de residuos.	135
4.2.3.3. Generación de lixiviados.	138
4.2.3.4. Diseño de infraestructura.	139
Capítulo V	
Conclusiones.	140
5.1. Conclusiones	140
5.2. Recomendaciones	141
5.3. Trabajos futuros.	142
Referencias bibliográficas	143
References	143
Anexo A	
Matriz de consistencia	146
Anexo B	
Panel fotográfico	147
Anexo C	
Fichas de registro de datos.	151
Anexo D	
Memorias de cálculo	152
Anexo E	
Reporte de ensayos	157
Anexo F	
Acervo documental.	166
Anexo G	
Planos.	172

Índice de figuras

Figura 1	Componentes de un relleno sanitario	16
Figura 2	Diagrama triangular para la clasificación de suelos por texturas.	33
Figura 3	Mapa de resistividades	34
Figura 4	Distribución de tuberías para colección de lixiviados	37
Figura 5	Localización de pozos de monitorio de aguas subterráneas y lixiviados.	38
Figura 6	Distancia influenciada desde el centro de la chimenea	38
Figura 7	Mapa de ubicación de la zona de investigación.	48
Figura 8	Acceso al relleno sanitario de Huamanga	49
Figura 9	Sección de la terraza N°03	50
Figura 10	Diagrama de flujo de trabajo de investigación.	50
Figura 11	Situación actual del manejo de los residuos sólidos en la ciudad de Ayacucho	51
Figura 12	Almacenamiento de residuos sólidos en la ciudad de Ayacucho.	52
Figura 13	Barrido de calles en la ciudad de Ayacucho.	53
Figura 14	Recolección y transporte de residuos en la ciudad de Ayacucho.	54
Figura 15	Rutas de recolección y transporte de residuos en la ciudad de Ayacucho.	55
Figura 16	Recojo de residuos inorgánicos aprovechables en la ciudad de Ayacucho.	60
Figura 17	Recojo de residuos orgánicos compostificables en la ciudad de Ayacucho.	61
Figura 18	Inscripción de participantes y entrega de incentivos del programa segregación	62
Figura 19	Ingreso principal y vías de acceso interno del relleno sanitario.	64
Figura 20	Infraestructuras administrativas y de servicio del relleno sanitario	65
Figura 21	Terraza de disposición final y chimeneas para gases	66
Figura 22	Poza de lixiviados y tanque de recirculación	66
Figura 23	Esquema general de las instalaciones del relleno sanitario	67
Figura 24	Control de peso de residuos sólidos en balanza de plataforma digital.	68
Figura 25	Ingreso y descarga de residuos sólidos	68
Figura 26	Compactación de residuos sólidos	69
Figura 27	Cobertura de residuos sólidos	69
Figura 28	Descarga de lixiviados en pozas; y gases a través de chimeneas.	70
Figura 29	Cantidad promedio mensual que ingresan al relleno sanitario de Huamanga	73
Figura 30	Terraza actual de disposición final.	74
Figura 31	Terraza vacía sin volumen de disposición final.	74
Figura 32	Terraza actual con volumen de disposición final.	75
Figura 33	Terraza proyectada con volumen de disposición final.	75
Figura 34	Medición y trazo de la celda diaria.	77

Figura 35	Marcación y nivelación de la celda diaria.	77
Figura 36	Trabajos de confinamiento de residuos sólidos en la celda diaria.	78
Figura 37	Relleno con residuos en la conformación de la celda diaria.	78
Figura 38	Identificación y transporte de material de cobertura	80
Figura 39	Cobertura y nivelación de la celda diaria.	81
Figura 40	Cubicación y tipo de material de cobertura	81
Figura 41	Marcación y retiro de material de cobertura	83
Figura 42	Acondicionamiento y extracción de muestras	83
Figura 43	Obtención de muestra y caracterización del hoyo formado	84
Figura 44	Pesaje de los residuos sólidos estabilizados.	84
Figura 45	Acondicionado de materiales para determinación de volumen	84
Figura 46	Volumen de los residuos sólidos estabilizados.	85
Figura 47	Obtención de muestras de residuos estabilizados	86
Figura 48	Pesado de muestras de residuos estabilizados	86
Figura 49	Peso seco de residuos sólidos estabilizados	87
Figura 50	Esquema básico de la celda diaria	92
Figura 51	Balance hídrico sobre las fosas de lixiviado	97
Figura 52	Cálculo de frente de trabajo.	114
Figura 53	Cálculo del avance diario.	115
Figura 54	Distribución normal de valores obtenidos de densidad compactada	128
Figura 55	Distribución normal de valores obtenidos de material de cobertura	130
Figura 56	Comportamiento del punto de control en las estimaciones analizadas de peso total de residuos sólidos	134
Figura 57	Comportamiento del punto de control en las estimaciones analizadas del volumen de disposición final	137
Figura A.1	Matriz de Consistencia.	146
Figura B.2	Trabajos de nivelación de superficies para conformación de celda diaria. . . .	147
Figura B.3	Trabajos de diagnostico de la infraestructura de la terraza N°03 del relleno sanitario de Huamanga	148
Figura B.4	Trabajos de diagnostico del sistema de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga	148
Figura B.5	Trabajos de control topográfico con nivel de ingeniero en conformación de celda diaria	149
Figura B.6	Trabajos de control topográfico con estación total de las dimensiones de la terraza N°03	149

Figura B.7Entrevista al sub-gerente de servicios públicos del Municipio Distrital de Carmen Alto	150
Figura B.8Entrevista al sub-gerente de servicios municipales del Municipio Distrital de Jesus Nazareno	150
Figura E.9 Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - muestras de 06 meses. .	158
Figura E.10Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - muestras de 12 meses. .	159
Figura E.11Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - Panel fotográfico 01 . . .	160
Figura E.12Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - Panel fotográfico 02 . . .	161
Figura E.13Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - Panel fotográfico 03 . . .	162
Figura E.14Reporte de resultados contenido de humedad - muestras de 06 meses	163
Figura E.15Reporte de resultados contenido de humedad - muestras de 12 meses	164
Figura E.16Reporte de resultados contenido de humedad - Panel fotográfico 01	165
Figura F.17 Solicitud presentada al Municipio Provincial de Huamanga sobre acceso a información y autorización de ingreso al relleno sanitario.	167
Figura F.18Solicitud presentada al Municipio Distrital de San Juan Bautista sobre acceso a información y entrevista.	168
Figura F.19Solicitud presentada al Municipio Distrital de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray sobre acceso a información y entrevista.	169
Figura F.20 Solicitud presentada al Municipio Distrital de Carmen Alto sobre acceso a información y entrevista.	170
Figura F.21 Solicitud presentada al Municipio Distrital de Jesús Nazareno sobre acceso a información y entrevista.	171

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Impactos específicos y medidas de mitigación en rellenos sanitarios</i>	19
Tabla 2	<i>Velocidad de descomposición según componentes orgánicos.</i>	23
Tabla 3	<i>Rango de valores típicos de humedad.</i>	24
Tabla 4	<i>Densidad en función del grado de compactación</i>	24
Tabla 5	<i>Rangos de valores típicos de densidad</i>	25
Tabla 6	<i>Valores de densidad de la basura</i>	25
Tabla 7	<i>Alteración de la densidad</i>	26
Tabla 8	<i>Rango de densidades de compactación de un relleno sanitario</i>	26
Tabla 9	<i>Porosidad en algunos suelos.</i>	32
Tabla 10	<i>Coeficiente de permeabilidad k (cm./s)(Escala logarítmica)</i>	32
Tabla 11	<i>Número de sondeos por hectárea</i>	35
Tabla 12	<i>Parámetros de monitoreo ambiental.</i>	39
Tabla 13	<i>Variables e indicadores del estudio.</i>	46
Tabla 14	<i>Cobertura del servicio de barrido a nivel del Distrito de Ayacucho</i>	53
Tabla 15	<i>Vehículos para el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos municipales en el Distrito de Ayacucho.</i>	54
Tabla 16	<i>Empresas comercializadoras de residuos sólidos aprovechables en la ciudad de Ayacucho - 2019.</i>	57
Tabla 17	<i>Precio promedio de los residuos inorgánicos aprovechables en la ciudad de Ayacucho - 2019.</i>	57
Tabla 18	<i>Cantidad promedio mensual de ingreso de residuos inorgánicos aprovechables de la empresa acopiadora en la ciudad de Ayacucho - 2019.</i>	58
Tabla 19	<i>Ingresos por residuos sólidos aprovechables de recicladores informales</i>	59
Tabla 20	<i>Residuos sólidos inorgánicos aprovechables recuperados por el programa de segregación municipal en la ciudad de Ayacucho.</i>	60
Tabla 21	<i>Residuos sólidos orgánicos compostificables recuperados por el programa de segregación municipal en la ciudad de Ayacucho.</i>	61
Tabla 22	<i>Personal que labora en el relleno sanitario.</i>	70
Tabla 23	<i>Maquinaria y equipos del relleno sanitario.</i>	71
Tabla 24	<i>Cantidad mensual total de residuos sólidos municipales dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2018.</i>	72

Tabla 25	<i>Cantidad mensual total de residuos sólidos municipales dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2019.</i>	72
Tabla 26	<i>Cantidad promedio diario de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2019.</i>	73
Tabla 27	<i>Turnos de trabajo del relleno sanitario.</i>	76
Tabla 28	<i>Dimensionamiento de volumen de celda diaria.</i>	79
Tabla 29	<i>Volumen de material de cobertura en celda diaria.</i>	82
Tabla 30	<i>Valores obtenidas del ensayo de densidad estabilizada</i>	85
Tabla 31	<i>Proyección de la población.</i>	90
Tabla 32	<i>Generación de residuos sólidos domiciliarios</i>	91
Tabla 33	<i>Composición de los residuos sólidos domiciliarios</i>	91
Tabla 34	<i>Generación de residuos sólidos no domiciliarios</i>	91
Tabla 35	<i>Proyección de la generación de residuos sólidos municipales</i>	92
Tabla 36	<i>Cálculo y proyección de la celda diaria</i>	93
Tabla 37	<i>Volúmenes de las terrazas del relleno sanitario de Huamanga</i>	95
Tabla 38	<i>Proyección de residuos para el cálculo de la vida útil</i>	96
Tabla 39	<i>Población urbana por distrito obtenida en los últimos censos.</i>	98
Tabla 40	<i>Tasa de crecimiento poblacional urbano por distrito.</i>	98
Tabla 41	<i>Proyección de la población urbana en los distritos involucradas</i>	99
Tabla 42	<i>Generación de residuos sólidos domiciliarios por distrito del año 2019</i>	100
Tabla 43	<i>Generación de residuos sólidos no domiciliarios por distrito del año 2019</i>	100
Tabla 44	<i>Composición de residuos sólidos municipales por distrito.</i>	101
Tabla 45	<i>Generación de residuos sólidos por distrito al año base</i>	102
Tabla 46	<i>Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos municipales</i>	102
Tabla 47	<i>Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Ayacucho.</i>	103
Tabla 48	<i>Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Carmen Alto.</i>	103
Tabla 49	<i>Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de San Juan Bautista.</i>	104
Tabla 50	<i>Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Jesús Nazareno.</i>	104
Tabla 51	<i>Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray</i>	105
Tabla 52	<i>Generación total de residuos sólidos municipales a disponer.</i>	106
Tabla 53	<i>Generación de residuos sólidos municipales a disponer con aprovechamiento real al 3.5%</i>	107
Tabla 54	<i>Cálculo de volumen de disposición final.</i>	110

Tabla 55	<i>Resumen de volumen acumulado de disposición final distintos casos</i>	111
Tabla 56	<i>Volumen acumulado de disposición final</i>	112
Tabla 57	<i>Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con aprovechamiento actual</i>	112
Tabla 58	<i>Cálculo de la vida útil de terraza N°03 con aprovechamiento actual</i>	113
Tabla 59	<i>Cálculo de la vida útil de volumen de disposición final evaluado y optimizado</i>	113
Tabla 60	<i>Parámetros para cálculo de celda diaria</i>	114
Tabla 61	<i>Cálculo de la longitud de avance de trabajo</i>	115
Tabla 62	<i>Precipitación mensual estación Tambillo</i>	117
Tabla 63	<i>Producción de lixiviados por tipo de relleno</i>	117
Tabla 64	<i>Caudal generado de lixiviados de precipitación</i>	118
Tabla 65	<i>Caudal generado de lixiviados por factor de generación</i>	118
Tabla 66	<i>Método Suizo</i>	118
Tabla 67	<i>Promedio de caudal generado de lixiviados</i>	119
Tabla 68	<i>parámetros de compactación y humedad según ensayos en campo</i>	119
Tabla 69	<i>Cálculo de la generación de lixiviado por la humedad propia de los residuos sólidos</i>	119
Tabla 70	<i>Generación de lixiviado por año</i>	120
Tabla 71	<i>Resumen de modelación de generación de lixiviados</i>	120
Tabla 72	<i>Volumen de disposición final anual de residuos</i>	122
Tabla 73	<i>Prueba de T student</i>	123
Tabla 74	<i>Tiempo de vida útil para volumen de disposición final</i>	124
Tabla 75	<i>Recuperación y disposición final actual de residuos sólidos municipales</i>	125
Tabla 76	<i>Valores de peso y volumen de disposición final actual en el relleno sanitario de Huamanga</i>	126
Tabla 77	<i>Volumen actual en uso de la terraza N°03</i>	126
Tabla 78	<i>Densidad compactada de residuos en celda diaria</i>	127
Tabla 79	<i>Material de cobertura en celda diaria</i>	129
Tabla 80	<i>Densidad estabilizada de residuos</i>	130
Tabla 81	<i>Humedad de las muestras de residuos</i>	131
Tabla 82	<i>Valores de proyección de población en análisis</i>	132
Tabla 83	<i>Valores de generación per cápita en análisis</i>	133
Tabla 84	<i>Valores de generación de residuos en análisis</i>	133
Tabla 85	<i>Valores de densidad compactada de residuos en análisis</i>	135
Tabla 86	<i>Valores de densidad estabilizada de residuos en análisis</i>	136
Tabla 87	<i>Valores de material de cobertura en análisis</i>	136
Tabla 88	<i>Valores de volumen de disposición final en análisis</i>	137
Tabla 89	<i>Generación y tratamiento de lixiviados producidos</i>	138
Tabla 90	<i>Volumen ocupado y disponible en análisis</i>	139
Tabla 91	<i>Tiempo de vida útil de la terraza N°03 en análisis</i>	139

Tabla C.1 <i>Formato N° 01: Dimensiones de la celda diaria</i>	151
Tabla C.2 <i>Formato N°02: Material de cobertura en la celda diaria</i>	151
Tabla D.3 <i>Cálculo de la vida útil del relleno sanitario sin recuperación de residuos sólidos aprovechables al 0%.</i>	153
Tabla D.4 <i>Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 3.5%</i>	154
Tabla D.5 <i>Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 15.31%</i>	155
Tabla D.6 <i>Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 85.37%</i>	156

Glosarios

Aguas de escorrentía o escurrimiento Aguas que no penetran en el suelo o que lo hacen lentamente y que corren sobre la superficie del terreno después de la lluvia.

Ambiente Conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Biogas Es la mezcla de gases de bajo peso molecular (metano, bióxido de carbono, etc.) es el producto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica.

Celda Conformación geométrica que se les da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta debidamente compactado mediante equipo mecánico o por los trabajadores de un relleno sanitario.

Compactación Acción de presionar cualquier material para reducir los vacíos existentes en él. El propósito de la compactación en el relleno sanitario es disminuir el volumen que ocuparan los residuos sólidos municipales a fin de lograr una mayor estabilidad y vida útil.

Control Vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.

Corte Acción de rebajar por medios mecánicos o manuales un material; en este caso, el terreno donde se construirá el relleno sanitario.

Densidad Masa o cantidad de materia de un determinado residuo sólido municipal contenida en una unidad de volumen.

Diseño Trazo o delineación de una obra o figura. Se aplica el término al proyecto básico de la obra.

Disposición Final Operaciones y procesos que se realizan para tratar o disponer en un determinado lugar los residuos sólidos, como última etapa de su manejo, en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Dren Estructura que sirve para el saneamiento y la eliminación del exceso de humedad en los suelos.

Generación o producción Cantidad de residuos sólidos municipales originados por una fuente en un periodo determinado.

Lixiviados Es el Líquido producido fundamentalmente por la precipitación pluvial que se infiltra a través del material de cobertura que atraviesa las capas de basura, transportando concentraciones apreciables de materia orgánica en descomposición y otros contaminantes.

Material de cobertura Capa superficial de tierra en cada celda que tiene como finalidad aislar los residuos del ambiente externo, controlar infiltraciones y la presencia de fauna nociva.

Mejoramiento Incremento de la calidad.

Monitoreo Muestreo y una serie de mediciones para determinar los cambios de niveles o concentraciones de contaminantes en un periodo y sitio determinados. En sentido restringido, es el examen periódico de los niveles de contaminación para cumplir con la normatividad o para evaluar la efectividad de un control.

Nivel freático Profundidad a la que se encuentran las aguas freáticas. Este nivel baja en tiempo de estiaje y sube en etapa de lluvias.

Pendiente Inclinación que tiene un terreno o cualquier elemento tomando como base la relación entre la longitud horizontal y la vertical.

Permeabilidad Es la capacidad del suelo para conducir o transportar un fluido cuando se encuentra bajo un gradiente. Varía según la densidad del suelo, el grado de saturación y el tamaño de las partículas.

Pozo de monitoreo Perforación profunda que se hace en un relleno sanitario para medir la cantidad de biogás y la calidad de los lixiviados que ahí se generan.

Precipitación pluvial Agua atmosférica que cae al suelo en estado líquido o sólido (lluvia, nieve o granizo).

Reciclaje Proceso mediante el cual ciertos materiales de la basura se separan, recogen, clasifican y almacenan a fin de reincorporarlos al ciclo productivo como materia prima.

Recuperación Actividad relacionada con la obtención de materiales secundarios, bien sea por separación, desempaquetamiento, recolección o cualquier otra forma de selección de los RSM con el objeto de reciclarlos o volverlos a utilizar.

Relleno sanitario Instalación donde se va a realizar la disposición ambientalmente segura y sanitaria de los residuos sólidos de gestión municipal en bajo tierra o en la superficie, basados en los métodos y principios de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Residuo sólido no domiciliario Aquel generado en establecimientos comerciales o

mercantiles (almacenes, hoteles, restaurantes, cafeterías y mercados).

Residuo sólido domiciliario El que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado por las actividades realizadas en viviendas o en cualquier otro establecimiento con características similares.

Residuos sólidos municipales Son de origen doméstico (restos de alimentos, papel, botellas, latas, pañales descartables, entre otros); comercial (papel, embalajes, restos del aseo personal, y similares); aseo urbano (barrido de calles y vías, maleza, entre otros); y de productos provenientes de actividades que generen residuos similares a estos, los cuales deben ser dispuestos en rellenos sanitarios.

Residuos sólidos Sustancias, subproductos o productos en estado semisólido o sólido, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que en razón de sus actividades produce residuos sólidos. Suele considerarse que no poseen valor económico.

Talud Inclinación de un dique, terraplén o desmonte.

Terraplén Macizo de tierra con que se rellena un hueco o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante.

Terrazas Ordenamiento de las pendientes muy inclinadas con el fin de crear parcelas horizontales.

tratamiento Cualquier proceso, método técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuos solido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

Trinchera Corte hecho en el terreno, con taludes a ambos lados, zanja excavada en la tierra para depositar los residuos sólidos.

Vectores Son los Seres vivos que intervienen en la transmisión de enfermedades al llevarlas de un enfermo o de un reservorio a una persona sana.

Vida útil Periodo durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir residuos de manera continua.

Lista de acrónimos

ASTM	: American Society for Testing and Materials.
GRSM	: Generación de residuos sólidos municipales.
IDF	: Infraestructura de disposición final.
IGA	: Informe de gestión ambiental.
INEI	: Instituto nacional de estadística e informática.
MC	: Material de cobertura.
MINAM	: Ministerio del Ambiente.
MPH	: Municipalidad Provincial de Huamanga.
MTC	: Ministerio de transportes y comunicaciones.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
RRSS	: Residuos sólidos.
RSM	: Residuos sólidos municipales.
RSU	: Residuos sólidos urbanos.
SDF	: Sistema de disposición final.
UGRS	: Unidad de Gestión de residuos Sólidos.
VU	: Vida útil.

Símbolos

Q	Caudal [m^3/s]
ρ	Densidad [kg/m^3]
GPC	Generación per cápita [kg/hab/día]
$Hab.$	Habitantes [<i>habitantes</i>]
kg	Kilogramo [kg]
km	Kilometro [$Km.$]
KN	Kilonewtons [KN]
m^3	Metro cubico [m^3]
mm	Milimetro [mm]
p	Nivel de significancia [p]
%	Porcentaje [%]
z	Talud de avance de celda [z]
t	Toneladas [t]
V	Volumen de disposición final [m^3]

Capítulo I

Planteamiento del problema

En este capítulo se presentan las generalidades de este trabajo de tesis, describiendo los objetivos, la justificación, así como el planteamiento del problema, lo cual conduce a una hipótesis sobre el mismo.

1.1 Descripción del problema.

La ingeniería civil es la rama de la ingeniería que se encarga de la elaboración de estudios de proyecto y la ejecución de obras de infraestructuras como son edificaciones, obras hidráulicas, sanitarias y de transporte. Además de las tareas de diseño y construcción, la ingeniería civil se dedica al control y mantenimiento de las obras construidas; de esta forma, puede prevenir que ocurran accidentes con la infraestructura o que se susciten problemas que deterioren el medio ambiente o de otro tipo derivados de las obras de ingeniería; asimismo se dirige en la solución de problemas ambientales en la construcción de la solución definitiva, como es el tratamiento de residuos sólidos en un relleno sanitario. En el Perú, una de las principales problemáticas ambientales, es la gestión de los residuos sólidos urbanos y su disposición final; los cuales se vienen superando a través de la construcción de este tipo de infraestructuras, siendo su diseño el objeto de este estudio.

1.1.1 Descripción del problema mundial.

El manejo de los residuos sólidos constituye a nivel mundial un problema para las grandes ciudades, factores como el crecimiento demográfico, la concentración de población en las zonas urbanas, el desarrollo ineficaz del sector industrial y/o empresarial, los cambios en patrones de consumo y las mejoras del nivel de vida, entre otros, han incrementado la generación de residuos sólidos en los pueblos y ciudades.

Probablemente, el primer método que se utilizó para tratar residuos sólidos consistió en arrojarlos al suelo o al mar, tal vez porque resultaba ser el más cómodo. Al progresar la

civilización y distribuirse la población en grupos más o menos numerosos, la práctica de arrojar indiscriminadamente los residuos al suelo fue haciéndose cada vez más incómoda y nociva para el medio ambiente. Aunque los aspectos sanitarios del tratamiento de residuos no se han ido conociendo hasta hace poco, las cantidades y la naturaleza desagradable de los mismos han creado condiciones en la mayoría de las ciudades que resultan insatisfactorias para la población. Así pues, los molestos basureros se sacaron de las ciudades y se encontraron para ellos terrenos más aislados.

En el caso de América Latina y El Caribe ha prevalecido el manejo de los residuos bajo el esquema de “recolección y disposición final” dejando rezagados el aprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos, así como la disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada. En muchos países de la región se utilizan los vertederos y/o botaderos a cielo abierto sin las debidas especificaciones técnicas; se continúa con la práctica de recolección sin clasificación y/o separación de los desechos desde el origen; existe un enorme número de segredadores trabajando en las calles y en los vertederos, buscando sobrevivir del aprovechamiento de materiales reciclables a pesar del riesgo a que exponen su salud e integridad física, unido esto a la deficiencia en la administración tanto pública como privada del sector son aspectos que revelan la crisis que presenta en la región el manejo de residuos sólidos.(Sáez & Urdaneta, 2014).

Por un lado, diferentes factores como la sobrepoblación, las diferentes actividades humanas modernas y el consumismo han contribuido a acumular gran cantidad de residuos (cientos y miles de toneladas anuales), cantidad que va en aumento. Por otro, no en todos los países existe la tecnología adecuada para reciclar los residuos y, hasta ahora, su manejo no ha resultado eficiente. Las quemas a cielo abierto y la disposición en tiraderos o vertederos, provocan problemas como la contaminación, que acarrea enfermedades y daño al ambiente, además de conflictos sociales y políticos.

Los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de los residuos están afectando, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, así como a las poblaciones rurales. En muchos países el manejo del servicio de manejo de residuos sólidos, se realiza con una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, ocasionando que este servicio carezca de

una adecuada planificación y organización, traduciéndose en altos costos de funcionamiento, que las mismas municipalidades han tenido que subsidiar consumiendo buena parte de su presupuesto.

1.1.2 Descripción del problema en el país.

El manejo de los residuos sólidos en el Perú es un tema que tiene muchísimo por mejorar. No es raro ver por las calles cerros de basura y contaminación. La población en el Perú crece hacia las ciudades, el 79.3% vive en zonas urbanas, y esto significa más producción de basura. Además el 29.2% se concentra en la ciudad de Lima. (INEI, 2017).

En nuestro país se producen un promedio de 19 mil toneladas de residuos sólidos municipales al día, de las cuales el 52% son dispuestos en un relleno sanitario, el 44% en botaderos y solo el 4% son reaprovechados. Además que en todo el país solo se tiene 34 rellenos sanitarios y un aproximado de 1585 botaderos. El manejo de residuos se refiere al control, ya sea de recolección, transporte, tratamiento, reciclado o eliminación de los materiales producidos por la actividad humana y así reducir sus efectos sobre la salud y el medio ambiente.

Por lo tanto es necesario planificar estrategias necesarias para su manejo. Puesto que la mayoría de la población no segrega de manera adecuada sus residuos, haciendo que la clasificación y disposición final sea más trabajoso y por ende su tratamiento sea más complicado. (MINAM, junio 2019).

Haciendo así referencia a una infraestructura de tratamiento de residuos sólidos, y sobre todo en cada una de las fases del proceso de manejo de los residuos, como son las actividades de tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos generados y alargando el tiempo de vida útil de la infraestructura.

1.1.3 Descripción del problema en la región.

La generación de residuos sólidos en la región de Ayacucho, año tras año va incrementándose por el mismo hecho del crecimiento poblacional, lo cual obliga a tener una infraestructura de disposición final de residuos sólidos para poder realizar el tratamiento necesario. Por lo cual se tiene que invertir en proyectos de inversión de construcción de Rellenos

Sanitarios. Lo cual engloba trabajos de diseño, construcción y operación de este tipo de obras.

El ministerio del Ambiente tiene en su registro de rellenos sanitarios en la región de Ayacucho, en la provincia de Huamanga (Tambillo) y otras provincias como Fajardo (Huancapi y Huaya), Cangallo (Cangallo y Los Morochucos), La Mar (San Miguel) y Lucanas (Puquio); que vienen realizando tratamiento de sus residuos en infraestructuras de disposición final de residuos sólidos (MINAM, 08 de noviembre 2019).

La gestión de sus residuos está a cargo de su municipalidad. Específicamente en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, región de Ayacucho; la gestión integral de los residuos sólidos municipales está a cargo de la Municipalidad Provincial de Huamanga, que cuenta desde el 09 de diciembre del 2017 con un relleno sanitario autorizado.

Actualmente en el relleno sanitario de Huamanga ingresan los residuos sólidos municipales recolectados por el servicio de limpieza pública del municipio provincial de Huamanga y los municipios distritales de San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray; donde se realiza el tratamiento de estos residuos sólidos para su disposición final.

Ademas se tiene según (Peña, 21 de agosto del 2019). donde menciona que el relleno sanitario de la Municipalidad provincial de Huamanga, al parecer no duraría lo establecido, debido a que en tan sólo dos años de uso ya habría alcanzado el 25% de su capacidad; así lo dio a conocer el jefe de la Unidad de Residuos Sólidos. Recomendó que en las viviendas, se puede separar los cartones, las botellas de plástico, rehusar las botellas de vidrio o separarlas al momento de sacar la basura. Evitar botar desmonte, vidrios y fierros que dañen las compactadoras.

Por lo cual se deduce que el diseño original para la construcción del relleno sanitario mencionado, esta dado para un tiempo de vida útil mayor a 10 años. Pero en esta fase de operación se esta teniendo problemas de disminución de capacidad instalada muy rapidamente, por lo cual se prevee que el tiempo de vida útil sera menor al del diseño.

1.2 Delimitación del problema.

El trabajo tiene como objetivo evaluar el diseño de la infraestructura existente para el tratamiento de los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario de Huamanga; para luego optimizar dicho diseño con datos y parámetros obtenidos en campo, y así determinar el tiempo de vida útil real de la infraestructura. Para lo cual se utilizó información actualizada de generación de residuos sólidos municipales, así mismo las operaciones de confinamiento en el tratamiento de los mismos hasta su disposición final.

1.2.1 Espacial(geográfica).

La presente investigación se desarrolla específicamente en las instalaciones del relleno sanitario de Huamanga que está ubicado en la localidad de Lindipampa, del distrito de Tambillo, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

1.2.2 Temporal.

Todo el año se realiza el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga. En este caso el presente trabajo de investigación se enmarca en identificar y diagnosticar sus principales características referentes al sistema de tratamiento de residuos sólidos y su intervención mediante la evaluación de los mismos, por lo cual los ensayos de la presente investigación fueron desarrollados en las instalaciones del relleno sanitario los 30 días del mes de octubre del año 2019.

1.2.3 Temática y unidad de análisis.

La unidad de Análisis o caso se refiere al que o quien es el objeto de investigación. La unidad de objeto de estudio de la investigación es la evaluación y optimización del diseño de la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga - Ayacucho, 2019.

1.3 Formulación del problema.

De acuerdo a la realidad problemática descrita del relleno sanitario de Huamanga, pues la reducción rápida de la capacidad de almacenamiento de esta infraestructura de tratamiento de residuos sólidos municipales, se plantea lo siguiente:

1.3.1 Problema general.

¿De qué manera optimizar el diseño de la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga.?

1.3.2 Problemas específicos.

- a) ¿ Cual es el diseño de infraestructura y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos que ingresan en el relleno sanitario de Huamanga.?
- b) ¿ Como mejorar el diseño para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final.?
- c) ¿ Cual es el manejo y diseño de tratamiento de los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final.?

1.4 Justificación e importancia.

1.4.1 Justificación.

El distrito de Ayacucho cuenta con la mayor población de la provincia de Huamanga, con 99,427 habitantes hasta el año 2017 y 22.59% con respecto a la población total del departamento de Ayacucho (INEI, 2017). Y por ello es generador de la mayor producción de residuos sólidos en la región, que son recolectados y transportados para su tratamiento en el relleno sanitario de Huamanga ubicado en Lindipampa.

1.4.2 Importancia.

El presente estudio de investigación tiene por finalidad evaluar el diseño de la infraestructura existente para el tratamiento de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga, para la cual se realizó el diagnostico de la generación de residuos sólidos, confinamiento de residuos y manejo de lixiviados generados. Para ello se recopiló información actual de la generación de residuos sólidos municipales, luego se realizó la optimización de diseño, mediante la utilización de parámetros de campo reales; y así determinar el tiempo de vital útil real de la infraestructura. Así mismo plantear un funcionamiento adecuado del relleno sanitario de Huamanga; Y reducir los impactos ambientales generados al ámbito de influencia del proyecto.

La optimización determina valores de las variables que intervienen en el ‘proceso, para que el resultado sea la mejor posible. Por lo tanto, la presente investigación propone un diseño óptimo de las futuras terrazas de disposición final a construir por la Municipalidad Provincial de Huamanga, como parte de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos que ingresan diariamente en el relleno sanitario de Huamanga, y así no presentar problemas de capacidad de almacenamiento y disminución rápida de tiempo de vida útil.

1.5 Limitaciones de la investigación.

Esta investigación tiene como alcance la evaluación del diseño de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga ubicado en Lindipampa, solo se limitó a dichas instalaciones. Se tomaron datos de tratamiento de los residuos sólidos, tal como son en la operación de confinamiento; donde se realiza los trabajos de descarga, compactación y cobertura con material; posteriormente se realizó el procesamiento de datos para plantear la optimización del diseño, de acuerdo a los objetivos planteados. En esta investigación no se realizó pruebas de análisis químicos ni biológicos, solo ensayos físicos.

1.5.1 Objetivo general.

Evaluar y optimizar el diseño de la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga.

1.5.2 Objetivos específicos.

- a) Conocer el diseño y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos que ingresan en el relleno sanitario de Huamanga.
- b) Plantear un mejoramiento del diseño para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final mediante la obtención de parámetros reales de confinamiento en campo.
- c) Analizar el manejo y el diseño de tratamiento de los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final.

Capítulo II

Marco teórico.

2.1 Antecedentes.

Para dar inicio a el presente trabajo de investigación se incurrió en otras investigaciones y artículos acerca del diseño y operación de un relleno sanitario.

Respecto a investigaciones sobre el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga en Lindipampa, no existe ninguna información, solo se tiene información sobre el estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales e implementación del programa de segregación en la fuente en todos los municipios de la ciudad de Ayacucho del año 2019.

2.1.1 Investigaciones internacionales.

A Nivel de Latinoamérica se han desarrollado investigaciones, como son:

(Vallejo & Díaz, 2017) En su trabajo de grado: “Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica - Cesar”. Universidad Católica de Colombia. El trabajo propone un diseño para un nuevo relleno sanitario localizado en el municipio de Aguachica Cesar, debido a que la disposición final de los residuos sólidos que se encuentra actualmente está próxima a alcanzar su vida útil y se necesita seguir satisfaciendo las necesidades de la comunidad en temas de saneamiento. Para poder realizar un adecuado diseño y tener un control de estos contaminantes, se plantea aplicar una solución sostenible en los temas de tratamiento para los mayores contaminantes que se presentan como lo son el metano, el dióxido de carbono y los lixiviados.

(Fernández, 2010) en su trabajo de tesis: ”Diseño y factibilidad de relleno sanitario manual

para el Municipio de La Libertad, Departamento de La Libertad”. Universidad de El Salvador. El presente estudio incluye la recopilación de información, datos, parámetros, cálculos y análisis que plantean una propuesta del diseño y la factibilidad para la construcción y operación de un relleno sanitario manual para el Municipio de La Libertad. Este relleno sanitario es un proyecto de ingeniería, destinado a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos que se generan en dicho municipio, de acuerdo con los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental, ayudando a resolver en gran parte de los problemas que se generan por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, tomando en cuenta una buena planeación desde las etapas iniciales de diseño, hasta las de su clausura.

(Zacari Mamani, 2006) en su trabajo de tesis: "Análisis y Evaluación de Maquinaria Pesada para Relleno Sanitario – Caso Relleno Sanitario Nuevo Jardín de Alpacoma". Universidad Mayo de San Andres. Realizó el análisis y evaluación de todos los factores de selección de la maquinaria que intervienen en las operaciones de disposición final en el relleno sanitario "Nuevo Jardín de Alpacoma", donde Los factores de selección de la maquinaria como ubicación del relleno, método de relleno utilizado, generación y tipo de residuos, material de cobertura, condiciones climáticas. Y los factores que determinan la compactación como espesor de la capa de residuos, número de pasadas, contenido de humedad, pendiente. Los rendimientos, esfuerzos y resistencias de la maquinaria seleccionada. El mayor costo individual en la operación diaria de un relleno sanitario es la compra, operación y mantenimiento del equipo móvil, el cual equivale al 75% del costo total de la inversión.

2.1.2 Investigaciones nacionales.

En el Perú se ha desarrollado trabajos de investigación en lo referente al diseño de rellenos sanitarios, como son:

(Pérez & Rojas, 2016) en su trabajo de tesis: "Diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado para el Distrito de Santiago de Cao – La Libertad". realizó el diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado para lograr una disposición final de los residuos sólidos adecuados, en el Distrito de Santiago de Cao en La Libertad, para este fin se realizó una revisión bibliográfica, así como un mapeo satelital del Distrito y análisis documentario y diagnóstico situacional del mismo, para lograr evitar o reducir la contaminación que generan los residuos sólidos

municipales, para ello se empleó una evaluación y análisis de los criterios técnicos, así como también se describió los estudios de ingeniería y se evaluó el proyecto con la normatividad vigente.

(Caruajulca, 2018) en su trabajo de tesis: "Caracterización de residuos sólidos urbanos y diseño de relleno sanitario en el Distrito de Oyotún, Provincia de Chiclayo–Lambayeque". por la inadecuada disposición final de los residuos sólidos generados en la zona urbana del Distrito de Oyotún, está originando impactos ambientales negativos, debido a que son eliminados en un botadero a cielo abierto, creándose focos de infección que perjudican la salud de los pobladores y el medio ambiente. Concluyéndose que en la caracterización de residuos sólidos domiciliarios se determinó que el componente orgánico tiene mayor porcentaje y representa el 35.65% del total de residuos, la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios es de: $GPC = 0.436 \text{ Kg/hab./día}$, para una vida útil de 20 años del relleno sanitario se necesita una área de 2.32 Ha. Se empleara el método combinado (trincheras y área), iniciando con el método de trincheras y se continuará con el método del área.

(Quispe, 2018) en su trabajo de tesis: "Evaluación del diseño de infraestructura de relleno sanitario para la localidad de Ocuvi, Distrito de Ocuvi, provincia de Lampa - Puno". Debido al colapso de la primera celda de la infraestructura por el mal manejo de la clasificación de residuos sólidos y el mal cálculo de la vida útil del relleno sanitario, el presente trabajo tiene como finalidad evaluar el diseño de la infraestructura de relleno sanitario para la localidad de Ocuvi, de la región Puno. Se evaluó según al perfil del proyecto la generación per cápita, producción de residuos domésticos, porcentaje de residuos domésticos, cobertura y porcentaje de aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos, recopilando los datos existente en el estudio de ampliación de limpieza pública de la Municipalidad de Ocuvi, una vez obtenido todos los resultados se llegó a la conclusión de que la vida útil de las celdas no cumple como se menciona en el perfil de proyecto de 5 años de vida útil.

2.2 Bases teóricas.

Las bases teóricas es referente a la densidad compactada, densidad estabilizada, material de cobertura, contenido de humedad, vida útil y diseño de infraestructura para el tratamiento de

residuos sólidos.

Densidad compactada.

Para la determinación de la densidad compactada se tiene, Según (Sakurai, 1983), la medición de la basura recién rellenada, se hace de la siguiente manera:

- a . Se prepara una celda especial de un tamaño de alrededor de $50m^3$, es preferible preparar una trinchera por su conveniencia en la medición del volumen.
- b . Se mide el volumen de la trinchera, midiendo las dimensiones de la celda conformada.
- c . Se llena la trinchera con la basura que fue pesada por una balanza para pesar camiones, esparciéndola y compactándola en la forma empleada en el relleno en cuestión.
- d . una vez llenada esta trinchera, se suma el peso de la basura, que ha sido colocada con la misma.
- e . Se obtiene la densidad de la basura recién rellenada al dividir su peso determinado en d. entre su volumen medido en b.

Así también (Zacari Mamani, 2006), para el Cálculo de la densidad de compactación, los cálculos y mediciones se realizaron en el mes de mayo de la gestión 2005, bajo el siguiente procedimiento:

- Dimensiones de la celda diaria.- El área destinada a la celda diaria de operación no se encuentran definidas ni normalizada en cuanto a sus dimensiones, las cuales presentan áreas irregulares.
- Cantidad de residuos sólidos dispuesto por turnos.- En el siguiente cuadro se presenta un resumen de la cantidad de residuos sólidos dispuestos en la celda diaria de las diferentes empresas por turnos de trabajo.
- Cálculo de la densidad de compactación.- Con los datos de dimensiones y cantidad se calcula las densidades de compactación obtenidas por los actuales compactadores.

Obteniendo la densidad promedio total de 608.62 kg/m^3 . Las densidades de compactación obtenidas, así como el promedio total son los únicos valores con las que se cuenta, pues no existe ningún registro de los mismos en los archivos del relleno.

Densidad estabilizada.

En el caso de la basura estabilizada se tiene referencia según (Silveira, 2004). Es un estudio del peso específico de vertederos de residuos sólidos municipales dispuestas en no controlados (vertederos), controlado y sanitario. Para determinar se realizaron estos ensayos

de gravedad específica situ para determinar el peso específico de los residuos en masa en vertedero.

El conocimiento del peso específico es de gran importancia en la predicción de la vida útil del relleno sanitario y su estabilidad. La adopción de esta metodología, Costa Leite et al (1979), celebrada en Vertedero Jacarepaguá / RJ la prueba, cuyos pasos principales son los siguientes:

- Desbroce de tierras.- con ayuda de la excavadora se realizó el terreno raspado para la eliminación de la capa de cubierta.
- Excavación.- con el uso de retroexcavadora, se realizó con un volumen de cubeta de 1.00 x 1.00 x 0.50 m.
- Pesado de material excavado.- con la ayuda de una pala mecánica, el material fue colocado en la entrada. Luego fue se pesando todo el material excavado embalado en un tambor adecuadamente tarado.
- Para determinar el volumen de los pozos realizado, el relleno se hizo con agua después de su revestimiento con lámina de plástico.
- Para determinar el valor de densidad, se divide el peso de material excavado entre el volumen excavado.

Debido a la dificultad de excavación en los vertederos para la obtención de un polígono regular, debido a la presencia de contenedores de madera, plástico, vidrio y PET, que no era posible para cavar un hoyo con dimensiones regulares, así como su profundidad estaba limitada por altura del nivel de líquido se filtre en el interior con la presencia de agua en la parte inferior.

Material de cobertura.

Segun (Guillén & Angel, 2011). "En su tesis para optar el título de ingeniero sanitario": El material de cobertura se determinó en el relleno sanitario, el ingreso de los camiones recolectores donde se obtuvo un peso acumulado de residuos sólidos de 123.9 t. Para cubrir la celda conformada y compactada de residuos sólidos, es necesario 3 volquetadas de 15 m³ cada uno, es decir de requiere 45 m³ de material de cobertura (con una altura de 0.20m). Ahora si tenemos que la densidad compactada de residuos sólidos en el relleno sanitario es en promedio 0.766 m³, tenemos que el volumen de la celda es de 161.7 m³. Por lo tanto el porcentaje de material de cobertura es de 27%.

Contenido de humedad.

Según (Henriques, 2000). El contenido en humedad puede ser determinado de dos formas, a través del método peso-húmedo y a través del método peso-seco. En el primero, la humedad se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el segundo método, la humedad se expresa como un porcentaje del peso-seco. El método más comúnmente utilizado en gestión de residuos sólidos es el método peso-húmedo.

Generación de lixiviados.

Según (Nicola Gómezjurado, 2017). En su trabajo de fin de máster: Para este parámetro básico y dada su importancia, se han aplicado tres métodos de cálculo, de los cuales para el diseño se ha adoptado el valor más crítico con el fin de dimensionar las unidades para la condición más desfavorable, para esto se parte de los datos de precipitación, área total del relleno y operación del relleno sanitario semi-mecanizado. Para lo cual consideró los siguientes modelos para el cálculo del volumen de lixiviados producidos en el relleno sanitario: Método Suizo, cuadro de generación en base a la precipitación y forma de operación; y Balance hídrico.

Vida útil.

Según (MINAM, 2011). Para determinar el período de vida útil del relleno sanitario se deberá comparar el volumen proyectado de recepción de residuos en el relleno (volumen de residuos sólidos municipales más material de cobertura) a lo largo de los años, con el volumen total acumulado de las trincheras y plataformas proyectadas dentro del área de disposición final durante la etapa de diseño, hasta encontrar un valor similar, ligeramente mayor o menor; este valor corresponde al período de vida del relleno sanitario en años. La capacidad del área debe ser suficientemente grande para permitir su utilización durante un periodo igual o mayor de cinco (05) años, a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación, instalación y las obras de infraestructura.

Infraestructura de tratamiento de residuos sólidos municipales.

En el Artículo N°41. del (DS N° 014-2017-MINAM, 2017). Menciona que la disposición final de residuos sólidos municipales se realiza en rellenos sanitarios, los mismos que son implementados por las municipalidades o EO-RS (Empresas operadoras de residuos sólidos) Así mismo en el artículo N°65. Menciona las infraestructuras para el manejo de residuos

sólidos son:

- a). Centro de acopio de residuos municipales.
- b). Planta de valorización.
- c). Planta de transferencia.
- d). Infraestructura de disposición final.

En cuanto a los componentes de este tipo de infraestructuras, el Artículo N°114. Menciona las instalaciones del relleno sanitario deben cumplir como mínimo con lo siguiente:

- a). Impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados ($k \leq 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ y en un espesor mínimo de 0.40 m); salvo que se cuente con una barrera geológica natural para dichos fines, lo cual estará sustentado técnicamente. De no cumplir con las condiciones antes descritas, la impermeabilización de la base y los taludes del relleno deben considerar el uso de geomembrana con un espesor mínimo de 1.2. mm y el uso de geotextil entre la geomembrana;
- b). Drenes de lixiviados con planta de tratamiento o sistema de recirculación interna de los mismos;
- c). Drenes y chimeneas de evacuación y control de gases;
- d). Canales perimétricos de intersección y evacuación de aguas de escorrentía superficial;
- e). Barreras sanitarias, que pueden ser barreras naturales o artificiales que contribuyan a reducir los impactos negativos y proteger a la población de posibles riesgos sanitarios y ambientales.
- f). Pozos para el monitoreo de agua subterránea, en caso corresponda;
- g). Sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados;
- h). Señalización y letreros de información conforme a la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo;
- i). Sistema de pesaje y registro;
- j). Control de vectores y roedores;
- k). Instalaciones complementarias, tales como caseta de control, oficinas administrativas, almacén, servicios higiénicos y vestuario.

En lo que respecta a las operaciones mínimas en rellenos sanitarios; en el Artículo N°115. del (DS N° 014-2017-MINAM, 2017). Menciona que las operaciones mínimas que deben realizarse en un relleno sanitario son:

- a). Recepción, pesaje y registro del tipo y volumen de los residuos sólidos;
- b). Nivelación y compactación diaria para la conformación de las celdas de residuos sólidos;
- c). Cobertura diaria de los residuos con capas de material que permita el correcto confinamiento de los mismos;
- d). Compactación diaria de la celda en capas de un espesor no menor de 0.20 m.
- e). Cobertura final con material de un espesor no menor de 0.50 m;
- f). Monitoreo de los parámetros establecidos en la línea base para la calidad del aire, suelo, ruido y agua superficial o subterránea, en caso corresponda;
- g). Mantenimiento de pozos de monitoreo, drenes de lixiviados, chimeneas para evacuación y control de gases, canaletas superficiales.

2.3 Marco conceptual.

2.3.1 Rellenos sanitarios.

Si bien existen varias definiciones de relleno sanitario, por lo general dichas definiciones coinciden en la precisión de palabras clave, como ingeniería, técnica, control, medio ambiente y salud.

El (Decreto Legislativo N°1278, 2017). define relleno sanitario como: instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales a superficie o bajo tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Por otro lado (Jaramillo et al., 2002). indica la siguiente definición: el relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

El éxito de un relleno sanitario radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control.

2.3.1.1 Clasificación de rellenos sanitarios.

Los rellenos sanitarios de acuerdo al tipo de operación se clasifican en tres:

- **Relleno sanitario manual.-** El esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realiza mediante el uso de herramientas simples como rastrillos, piones manuales, entre otros y la capacidad de operación diaria no excede las 20 toneladas de residuos. Se restringe su operación en horario nocturno.
- **Relleno sanitario semi mecanizado.-** La capacidad máxima de operación diaria no excede las 50 toneladas de residuos y los trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipo mecánico, siendo posible el empleo de herramientas manuales para complementar los trabajos del confinamiento de residuos.
- **Relleno sanitario mecanizado.-** La operación se realiza íntegramente con equipos mecánicos como el tractor de oruga, cargador frontal y su capacidad de operación diaria es mayor a las 50 toneladas. (MINAM, 2008).

2.3.1.2 Componentes de un relleno sanitario.

Los componentes importantes de los rellenos sanitarios incluyen revestimientos, sistemas para la gestión de lixiviados y gases, y la gestión de rellenos sanitarios después de que se haya detenido la eliminación de residuos. La siguiente figura proporciona una ilustración general de los componentes principales del relleno sanitario.

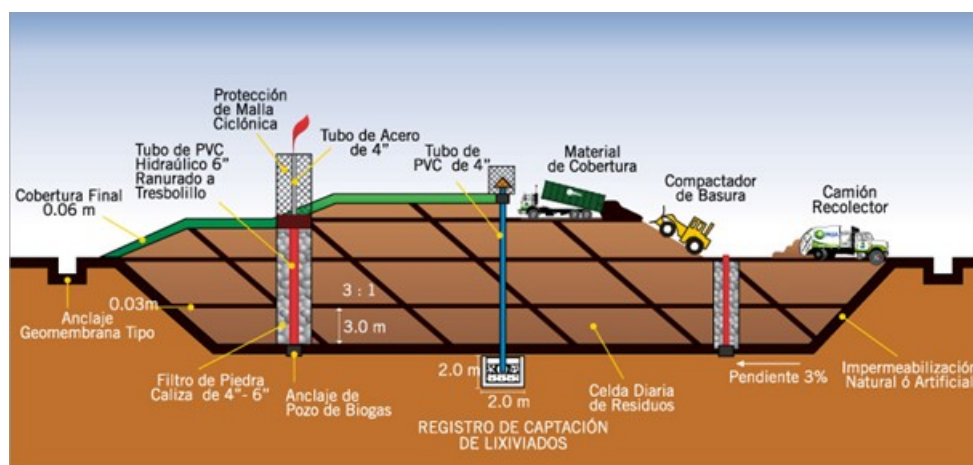


Figura 1 Componentes de un relleno sanitario

Fuente: Obtenido de MMMYA (2012)

Para el manejo de los residuos es necesario cumplir con los requisitos de prevenir la recepción inadecuada de los residuos y llevar un historial de las cantidades recibidas en la disposición final. En la etapa del manejo del relleno se deben desarrollar las celdas del relleno, escoger el lugar de vertido y compactar el residuo depositado. Para preparar la franja de vertido se

deben realizar una serie de procedimientos que permitan dejar el terreno en condiciones de recibir los residuos.(MMMyA, 2012).

a. Manejo de los residuos.

El manejo de residuos sólidos está comprendido por todas las actividades funcionales u operativas relacionadas con la manipulación de los residuos sólidos desde el lugar donde son generados hasta la disposición final de los mismos.

a.1. Compactación de residuos .- La compactación de las capas de cobertura intermedia y final tiene una importancia fundamental en el uso de los recursos económicos relacionados con el proyecto y su vida útil. Pues la aplicación de energía dinámica en los suelos aumenta la densidad de la masa vertida, disminuyendo su volumen y prolongando la vida útil del relleno, implicando mayor capacidad de almacenar residuos durante la vida útil del relleno, lo que desde el punto de vista de la evaluación mejora los ingresos percibidos por concepto de toneladas recibidas, al mismo tiempo la mayor densidad alcanzada, debido a una fuerte compactación, disminuye la percolación y los costos asociados a ella. (Aguirre, Arancibia, Grandón, Marchant & Andrade, 2006).

Compactar no es más que aumentar la densidad de los residuos depositados, es decir, tener mayor cantidad, en menos volumen. Los beneficios de la compactación son:

- a. Optimiza el uso del terreno del vertedero, al permitir colocar más residuos en menos espacio.
- b. Extiende la vida útil del relleno sanitario, al aumenta el volumen que se puede recibir.
- c. Si los residuos son compactados, se requiere menos tierra para cubrir a diario.
- d. Reduce el asentamiento del relleno sanitario.
- e. Previene madrigueras de roedores.
- f. Previene filtraciones de lixiviados en los taludes.

Es indispensable compactar los residuos de manera óptima para extender la vida útil del relleno y minimizar los impactos ambientales.(MMAyRN, 2017).

b. Manejo de lixiviados.

La materia orgánica presente en los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se degrada formando un líquido, de color negro y de olor penetrante, denominado lixiviado el cual arrastra todo

tipo de sustancias nocivas como metales pesados y cloruros entre otros. Se han encontrado hasta 200 compuestos diferentes, algunos de ellos tóxicos y cancerígenos. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y las aguas superficiales y subterráneas.

Los lixiviados generan un problema en el relleno sanitario por los volúmenes producidos, el área ocupada, y por la contención adecuada de estos. Sumado a lo anterior la disposición final a cuerpos de agua generan riesgo a la salud humana y animal, por la presencia de oligoelementos compuestos orgánicos, altos contenidos de nitrógeno amoniacal, nitratos entre otros; por esta razón, el analizar opciones de manejo y disposición que tiendan hacia el aprovechamiento termina siendo un elemento vital para los municipios y para las empresas operadoras de los sistemas de disposición final de residuos.(Betancourt & Martínez, 2012).

c. Control de emisiones.

El proceso de degradación inicia en presencia de oxígeno (condiciones aeróbicas), produciéndose principalmente dióxido de carbono (CO_2), pero una vez que se consume todo el oxígeno presente, el proceso continúa bajo condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) y en esta etapa la materia orgánica se transforma fundamentalmente en metano (CH_4) que es un gas combustible altamente explosivo, y de efecto invernadero, el cual junto al CO_2 es el mayor componente del biogás, dióxido de carbono y muy pequeñas cantidades de amoníaco (NH_3) y ácido sulfhídrico (H_2S).

Para ello se pueden utilizar varios tipos de sistemas para controlar las emisiones y la migración del biogás (sistemas activos y pasivos), dependiendo de la cantidad que se genere. Por lo cual es necesario realizar un reconocimiento de los posibles impactos ambientales en forma anticipada de aspectos, como contaminación del agua, generación de olores y ruidos que se producirían durante la construcción de la instalación, su operación y post-cierre.(MMAyRN, 2017).

2.3.1.3 Impactos al medio ambiente de los rellenos sanitarios.

En la planificación y construcción de los rellenos sanitarios se deben tomar precauciones para no alterar el medio ambiente natural en forma negativa o causar impactos adversos en la población circundante. Para evitar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales más cercanas se deben utilizar áreas donde la permeabilidad del suelo

subyacente sea reducida y materiales aislantes adecuados.

En los rellenos sanitarios existe el riesgo de accidentes y desastres por explosiones debido a la acumulación del gas metano, producido por la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos en forma anaeróbica. El gas metano tiende a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno pudiendo migrar a las áreas vecinas con el consiguiente peligro de explosión. Estos riesgos deben evaluarse y abordarse con planes de contingencia apropiados que consideren la construcción de un sistema de drenaje para liberar los gases a la atmósfera. (Ullca, 2005).

Tabla 1 *Impactos específicos y medidas de mitigación en rellenos sanitarios*

Operación				
Etapa	impactos			medidas mitigadoras
	ambiente físico	ambiente biológico	ambiente antrópico	
Descarga y compactación	-generación de polvos	-generación de vectores	-problemas de salud por contacto con basura de descarga clandestina en áreas abiertas y al lado de caminos.	-la selección del sitio es importante para minimizar este tipo de impactos.
				-tomar medidas para mitigar las emisiones de polvos furtivos, tales como pavimentar, aceitar o humedecer levemente los caminos de tierra.
				-usar insecticidas y productos biodegradables de control de vectores.
			-el polvo es un irritante ocular que puede portar microorganismos patógenos a ser inhalados por las personas.	-establecer un plan de vacunación de trabajadores y personas en contacto con la basura. -establecer medidas de protección individual, educación y limitar el acceso al relleno, control y fiscalización periódica del ambiente.
recubrimiento y paisajismo	-desfiguración del paisaje por destroce de vegetación y excavaciones.			-establecer un plan de arborización / cubierta vegetal de la zona.
Mantenimiento y cierre				
Drenaje de líquido y de gases	-deterioro de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. -contaminación del acuífero.	-la descomposición de los desechos produce gas metano, potencialmente explosivo y gases orgánicos potencialmente tóxicos.		-efectuar monitoreo periódico y medidas para el drenaje de gases.
Capa de recubrimiento y vegetación	-aspectos paisajísticos			-retirar material de área autorizada. -reintegrar al relleno estética y funcionalidad.

Fuente: Obtenido de Ullca (2005)

Al diseñar un relleno sanitario se debe considerar los aspectos socioculturales del vecindario, especialmente en relación a las dimensiones de las instalaciones, que deben estar en conformidad con los planes maestros de uso del suelo urbano. Los impactos estéticos y

sonoros (ruidos de tránsito) deben ser evaluados especialmente en las áreas próximas a urbanizaciones. La migración de gases y polvo (olor y humo) según la dirección prevaleciente de los vientos, el flujo de las aguas subterráneas (que pueden contaminar a los pozos de agua potable) y las características de los cuerpos de aguas superficiales son elementos importantes a ser considerados en los proyectos de residuos sólidos.

2.3.2 Diseño de un relleno sanitario.

Para el diseño de un relleno sanitario, que es una instalación física utilizada para la evacuación de los residuos sólidos urbanos en compartimentos estancados, en capas cubiertas con material inerte o tierra, según criterios de la ingeniería de modo de minimizar el deterioro ambiental y la salud pública, se deben tener en cuenta una serie de parámetros básicos de diseño:

- . Cantidad de residuos a disponer diariamente en el relleno.
- . Cantidad de material de cobertura que se dispone.
- . Vida útil del relleno.
- . Sellado final.

En la determinación de la cantidad de residuos a disponer diariamente en el relleno, éste juega dentro de la estrategia integral del manejo de los RSU un papel importante por cuanto va a ser el receptor de aquella fracción de residuos para los que aun no se dispone de un método viable de valorización. (Turcumán, Fiore & Vázquez, 2009).

Según (MMAyRN, 2017). La formulación del diseño conlleva la realización previa de los estudios básicos. Para un proyecto de disposición final, comprenden la definición de los puntos siguientes, entre otros:

- . Año de diseño, debe establecerse para mínimo 10 años.
- . Capacidad planificada de disposición de residuos(m^3).
- . Cantidad planificada de disposición de residuos (t).
- . Disponibilidad del material de cobertura.
- . Método de disposición final (celda, trinchera o mixto).
- . Tipo (manual o mecanizado/semiaeróbico o anaeróbico).
- . Infraestructuras básicas y complementarias .
- . Monitoreo ambiental.

- . Plan de uso post-cierre del Sistema de disposición final.

2.3.2.1 Vida útil de un relleno sanitario.

La vida útil del sitio depende de muchas variables entre las que mencionamos las siguientes:

- a. El volumen disponible.
- b. La cantidad de residuos sólidos a disponer.
- c. Método de operación.

Para determinar el período de vida útil se deberá comparar el volumen proyectado de recepción de residuos en el sitio (volumen de residuos sólidos municipales más material de cobertura) a lo largo de los años, con el volumen total acumulado que se depositaría en las celdas proyectadas, durante la etapa de diseño dentro del área de disposición final; hasta encontrar un valor similar, ligeramente mayor o menor. Este valor corresponde al período de vida del relleno sanitario en años. La vida útil del sitio de disposición final quedaría determinada por la topografía y las dimensiones del terreno, la cantidad de residuos a depositar, la altura de las celdas y el grado de compactación de los residuos ya depositados.

Una vez determinada la vida útil del relleno sanitario se debe proceder a detallar más el proyecto. Para esto es importante determinar la cantidad y la altura de las celdas que se construirán. La altura de las celdas está determinada por el tipo y calidad de la compactación en el relleno que se construirá.

Se recomienda un tamaño de celda equivalente al área necesaria para recibir los residuos generados en un año, cuyo tamaño sea el doble del ancho del tractor, a fin de facilitar la operación. En algunos casos es necesario considerar la construcción de una celda de emergencia, sobre todo en zonas donde hay una alta pluviometría. (MMAyRN, 2017).

2.3.2.2 Selección del método.

Métodos a emplear para la disposición final de los residuos sólidos.

- Método de trinchera.

Consiste en depositar los residuos sólidos sobre el talud inclinado de la trinchera (talud 1:3), donde son esparcidos y compactados con el equipo adecuado, en capas, hasta formar una celda que después será cubierta con el material excavado de la trinchera, con una frecuencia

mínima de una vez al día esparciéndolo y compactándolo sobre el residuo.

Este método es usado normalmente donde el nivel de aguas freáticas es profundo, las pendientes del terreno son suaves y las trincheras pueden ser excavadas utilizando equipo normal de movimiento de tierras.

- Método del área.

El método es similar al de trinchera y consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas de 60cm. Para formar la celda que después se cubre con tierra. Las celdas se construyen inicialmente en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo.

puede usarse en cualquier terreno disponible como canteras abandonadas, inicio de cañadas, terrenos planos, depresiones y ciénegas contaminadas; un punto importante en este método, para que el relleno sea económico, es que el material de cubierta debe transportarse de lugares cercanos a éste.

- Método mixto o combinado.

Los métodos mixtos o combinados son considerados los más eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio.

En algunos casos cuando las condiciones geohidrológicas, topográficas y físicas del sitio elegido para llevar a cabo el relleno sanitario son apropiadas, se pueden combinar los dos métodos anteriores, por ejemplo, se inicia con el método de trinchera y posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior. (MINAM, 2011).

2.3.3 Residuos sólidos.

Los residuos sólidos son materiales heterogéneos, anisótropos y aleatorios que poseen propiedades mecánicas, biológicas e higroscópicas en continuo cambio. Están conformados por partículas sólidas y espacios vacíos que incluyen gases y lixiviados.

las propiedades físicas comúnmente determinadas en materiales geotécnicos, tales como

peso específico, gravedad específica, contenido de humedad, distribución granulométrica, permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante, entre otras, pueden también ser evaluadas en los residuos sólidos.

El cambio en la estructura mecánica y biológica del material que conforma los residuos sólidos, sugiere cierta interdependencia entre sus propiedades. Por ejemplo, los parámetros de resistencia al corte pueden variar de acuerdo a modificaciones en el peso específico, la distribución de tamaños, entre otras. Debido a la composición de los rellenos sanitarios, el tiempo de descomposición biológico también puede afectar estos parámetros. (Sandoval, Ramirez & Cuarán, 2015).

Tabla 2 *Velocidad de descomposición según componentes orgánicos*

velocidad de descomposición	componentes	tiempo aproximado de descomposición en el relleno (años)
Rapida	residuos de alimentos, residuos de jardín, poda	0-1
Media	papel, cartón, cartón para alimentos, papel higiénico, residuos sanitarios	2
Lenta	textiles, pañales, madera	25

Fuente: Obtenido de Sandoval, Ramirez y Cuarán (2015).

La composición de los residuos sólidos varía de región a región y de país a país, por ejemplo países en desarrollo usualmente contienen residuos con mayor cantidad de material biodegradable y menos plástico; mientras que países desarrollados como Alemania, con políticas de reciclaje y pre-tratamiento bien establecidas, tienen residuos con menos contenido de material biodegradable, y una clasificación más uniforme y consistente. (Sandoval et al., 2015).

2.3.3.1 Humedad

El contenido en humedad en los vertederos de residuos sólidos urbanos varía según muchos factores que a su vez están relacionados entre si, como la composición inicial de los residuos, las condiciones climáticas, la forma de construcción del vertedero, la presencia de sistemas de drenaje de lixiviados, la cobertura del vertedero, la cantidad de humedad generada por los procesos biológicos y la cantidad de humedad eliminada por los gases generados en el vertedero. En la siguiente tabla se presentan una serie de valores de humedad recogidos de la literatura técnica:

Tabla 3 *Rango de valores típicos de humedad*

Autor/año	Humedad (%)	Observaciones
Rao et al. (1977)	65-72	con materiales vegetales
Harris, M.R (1974)	50-70	
Lopez Garrido et al. (1975)	22	invierno
	29	verano
Chen (1977)	30-48	
Mabry (1977)	18-187	
York et al. (1977)	70-400	
Cartier & Baldit (1983)	20-35	constante con la profundidad
Oliden (1987)	49-56	

Fuente: Obtenido de Henriques (2000).

2.3.3.2 Densidad

Es importante conocer la densidad de los residuos y su variación en función de la evolución de las propiedades resistentes. Singh y Murphy (1990) y Fassett et al (1994), sitúan los valores de densidad de los residuos en un rango entre 0,30 a 1,50 t/m³. Diversos autores emplean estos valores para estimar la capacidad de rellenos y estudios de estabilidad y se puede asumir que los valores bajos corresponden a rellenos con deficiente ó nula compactación y los valores altos se puede asignar a residuos antiguos bajo sobrecargas relativamente altas ó rellenos modernos. (Turcumán et al., 2009).

Tabla 4 *Densidad en función del grado de compactación*

Densidad	mala compactación	compactación moderada	buena compactación
Rango de densidad total (t/m ³)	0.30-0.94	0.52-0.78	0.89-1.07
promedio de densidad total (t/m ³)	0.54	0.7	0.97
rango de densidad seca (t/m ³)	0.19-0.35	0.35-0.54	
promedio de densidad seca (t/m ³)	0.27	0.46	

Fuente: Obtenido de Turcumán, Fiore y Vázquez (2009)

En general, la densidad de los residuos sólidos es bastante difícil de determinar; hay un gran número de dificultades que impiden el conocimiento de este parámetro con exactitud, por ejemplo, la composición heterogénea del material, la variedad de tamaños de los componentes, la presencia de capas de cobertura de tierra, etc. Los principales factores que influyen en la densidad de los RSU incluyen: composición de los residuos, volumen del suelo de cobertura y el grado de compactación obtenido durante el vertido de los residuos. (Henriques, 2000).

En la siguiente tabla se presentan una serie de valores de densidad recogidos de la literatura técnica a nivel mundial según el grado de compactación:

Tabla 5 Rangos de valores típicos de densidad

Autor/año	Densidad (KN/m^3)	Observaciones
Bruner y Keller (1971)	3.0 - 10.0	según compactación
Rao (1974)	1.5 - 2.0	sin compactación
	3.5-6	compactación debil
Yen y Scanlon (1975)	6.5	compactación debil
Lopez Garrido (1975)	0.9 - 1.25	sin tratamiento
Bratley et al. (1976)	1.2	sin compactar
	7.0-13.1	según tipo de compactación
Moore et al. (1977)	2.5-3.5	sin compactación
Cartier y Baldit (1983)	11.0-14.5	variable con la profundidad
	10,0	despues de compactar
Oliden (1987)	7.5-8.5	precargado
Oweiss y Khera (1990)	5.5-7.1	antes de descomposición
	6.3	origen industrial y domestico
	4.6-17.3	miscelaneo
Oweiss y Khera (1990)	2.8-3.1	municipal sin compactar
	4.7-6.3	idem moderadamente compacto
	8.6-9.3	idem buena compactación
Arroyo et al. (1990)	10.0	basuras compactadas
van Impe (199-1994)	5.0	residuos de papel fresco
van Impe (199-1994)	8.0	residuos y bloques de papel triturado
Gabr & Valero (1995)	9.3	densidad seca máxima (w=31%)
	8.0	saturación completa (w=70%)
	12.0	con volumen de aire nulo (w=31%)

Fuente: Obtenido de Henriques (2000)

Así también se tiene referencia a nivel de la literatura en latinoamericana como son:

Según (Röben, 2002) La densidad de basura varia según su estado de compactación.

Generalmente, se puede resumir como siguiente :

Tabla 6 Valores de densidad de la basura

Estado de compactación	Densidad
Basura en el recipiente domiciliario	:105-210 kg/m^3
Basura en el recolector	:350-630 kg/m^3
Basura compactada en el relleno manual	:400-600 kg/m^3
Basura compactada mediante maquinaria	:600-810 kg/m^3

Fuente: Obtenido de Röben (2002)

Estas densidades se alcanzan con la compactación homogénea y, a medida que se estabiliza el relleno, con todo lo que incide en la estabilidad y vida útil del sitio.

También se tiene según (Sakurai, 1983). La densidad de la basura latinoamericana es superior a la de los países industrializados por su menor contenido de papeles y plásticos. Es fundamental la medición de la densidad de la etapa E, en el cálculo de la vida útil del relleno.

Tabla 7 *Alteración de la densidad*

Etapa	Densidad
A. Basura suelta en recipientes	:200 kg/m ³
B. Basura compactada en camiones compactadas	:500 kg/m ³
C. Basura suelta descargada en los rellenos	:400 kg/m ³
D. Basura recién rellena	:600 kg/m ³
E. Basura estabilizada en los rellenos (2 años después del relleno)	: 900 kg/m ³

Fuente: Obtenido de Sakurai (1983)

En nuestro país, según (MINAM, 2018). Las densidades sugeridas para el cálculo del volumen se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8 *Rango de densidades de compactación de un relleno sanitario*

tipo de relleno sanitario	compactación de los residuos	densidad aproximada (t/m ³)
manual	compactación empleando pisoneros manuales	0.5-0.6
Semi-mecanizado	compactación mecánica	0.6-0.7
Mecanizada	compactación mecánica	0.7-1.0

Fuente: Obtenido de MINAM (2018)

Cobertura intermedia

La cobertura se define como la acción de revestir los residuos sólidos con tierra u otro material adecuado, después de que los mismos han sido emparejados y compactados, en la zona ya conformada. En un relleno sanitario se tienen dos tipos de cobertura: intermedia y final. La cobertura intermedia es la que se realiza durante la operación del SDF, en tanto que la final, se ejecuta al momento de su cierre o clausura. A la cubierta intermedia, también se le denomina diaria porque deberá colocarse, tal como su nombre lo indica, de forma continua y antes de las 24 horas posteriores al depósito de los residuos.

Método de cobertura.- Los residuos depositados se cubrirán conformando una capa continua y uniforme. El espesor de la cubierta diaria de material deberá ser de al menos 30 cm con el material ya compactado, equivalente a un espesor de aproximadamente 35 centímetros de material en estado suelto. El material de cubierta sobre los taludes podrá

tener aún un menor espesor. La superficie de la celda quedará conformada con una pendiente del 2 al 3%.

Material de cobertura.- Los materiales recomendados para servir como cubierta diaria son, dependiendo de su disponibilidad en la zona: tierra, caliche, arcilla, granzote fino, compost, entre otros. Es de suma importancia que la fuente del material esté cerca del sitio. (MMAyRN, 2017).

Según (Röben, 2002). la cantidad necesaria de material de cobertura debe ser entre un 1/4 y 1/3 (25 a 33%) de la capa de residuos enterrada. se multiplica el volumen de basura con el factor 1.3 para obtener el volumen necesario del relleno, considerando que se añade material de cobertura. La vida útil debería ser más de 10 años, caso contrario, no se justifican los gastos para la adquisición y preparación del terreno. La capacidad necesaria se calcula de la siguiente manera:

$$V_{relleno} = 1.3 * V_{basura}$$

Donde:

V_{basura} : Volumen de la basura.

$V_{relleno}$: Volumen necesario para el relleno.

En nuestro País según (MINAM, 2018). El volumen de material de cobertura esta entre el 20% y el 25% del volumen total de residuos sólidos.

$$\%materialdecobertura = 25\% RSM$$

2.3.4 Infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos

2.3.4.1 Estudio de selección de sitio.

Según el Artículo N°110 del (DS N° 014-2017-MINAM, 2017):condiciones para la ubicación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos; Las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos deben seguir las siguientes condiciones:

- a) Ubicarse a una distancia no menor a 500 metros de poblaciones, así como de granjas porcinas, avícolas, entre otras. Por excepción, y de acuerdo a lo que se establezca en el IGA, la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores sobre la base de los potenciales riesgos para la salud o la seguridad de la población;

- b) No estar ubicadas a distancias menores de 500 metros de fuentes de aguas superficiales. Por excepción y de acuerdo a lo que establezca en el IGA, la autoridad ambiental podrá permitir su ubicación a distancias menores, considerando la delimitación de la faja marginal conforme a la normativa vigente de la materia;
- c) No estar ubicada en zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos en la zona de emplazamiento del proyecto;
- d) No estar ubicada en zonas con presencia de fallas geológicas;
- e) No estar ubicada en zonas donde se puedan generar asentamientos o deslizamientos que desestabilicen la integridad de la infraestructura de residuos sólidos;
- f) Otros que establezca la normatividad sobre la materia.

2.3.4.2 Estudios básicos de diseño.

A. Estudio demográfico.

Población actual.- Es uno de los parámetros primordiales conocer el numero de habitantes de diseño, para definir la cantidad de residuos sólidos de la ciudad. Un relleno sanitario atiende la producción de la población Urbana, debido a la cantidad de población, aumento de la población, desarrollo de diversas actividad, presencia de instituciones, etc. Para ello se utilizara información de los últimos censos hasta el ultimo que fue del (INEI, 2017).

Tasa de crecimiento.- Estimar la proyección de la población es predecir el numero de habitantes en los próximos 10 años (seria recomendable para el proyecto ya que el reglamento sugiere 5 años), para relacionar y calcular la cantidad de residuos durante toda la vida útil del relleno.

Proyección de la población.-Es necesario estimar la población futura, para poder calcular la generación de residuos sólidos municipales, que se tratara en las celdas diarias y en forma anual durante el tiempo de vida útil de las instalaciones del relleno sanitario. (MINAM, 2011).

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

Donde:

Pf : Población final.

Po : Población inicial.

r : Tasa de crecimiento de la población.

n : intervalo en años.

B. Estudio de caracterización de residuos.

Estudio que producto de mediciones de campo o muestreo estadístico determina entre otras. la generación per cápita de residuos de una población en estudio, la generación actual, la composición porcentual de los diferentes tipos de residuos que se generan y la densidad de los residuos que se recolectan.

Generación per cápita.- la generación per cápita expresa la cantidad(en peso) de residuos generados por un solo individuo, se determina como sigue:

$$G_{pc} = \frac{DSr}{Pob * 7}$$

Donde:

G_{pc} : Generación per cápita por habitante por día (Kg./hab./día)

DSr : Cantidad de residuos sólidos recolectados en una semana(kg./semana)

Pob : Cantidad de habitantes en la vivienda.

7 : Días de la semana.

Generación total de residuos sólidos.- El conocimiento de la generación total de residuos sólidos domésticos permite tomar decisiones sobre el equipo de recolección mas adecuado, la cantidad de personal, las rutas, la frecuencia de recolección, la necesidad del área de tratamiento y la disposición final.

$$DSd = Pob * G_{pc}$$

Donde:

G_{pc} : Generación per cápita(Kg./hab./día)

Pob : Población total (hab.)

Proyección de la producción total.- esta se calcula tomando en consideración la población proyectada en base a la tasa de crecimiento población anual y el incremento anual de la generación per capita. Así mismo se determinara el incremento anual de la generación per capita mediante la siguiente formula:

$$G_{pf} = G_{pc}(1 + r)^n$$

Donde:

G_{pf} : Generación per cápita futura(Kg./hab./día)

G_{pc} : Generación per cápita actual(Kg./hab./día)

r : Tasa de incremento de generación en %.

n : numero de años.

Clases o tipos de residuos sólidos a manejar.- estos se clasifican según su origen en:

- residuos domiciliarios.
- residuos comerciales.
- residuos de limpieza.
- residuos de espacios públicos .
- residuos de establecimientos.
- residuos de salud.
- residuos industriales.
- residuos de las actividades de construcción.
- residuos agropecuarios, de instalación sanitarias o actividades especiales.

los residuos sólidos domiciliarios o residenciales con generados por viviendas unifamiliares y multifamiliares, estos contiene porcentajes sustanciales de material putrecible.

los residuos comerciales tiene un valor y usos locales como el papel, los plásticos, textiles, chatarra, asimismo debido a los segregadores y recicladores de residuos sólidos removidos y evitan que lleguen a a los lugares de disposición final.

Composición.- la cantidad de residuos sólidos influyen en la densidad del sitio, numero de vehículos que ingresan al sitio, superficie de terreno y cobertura.

Densidad.- La densidad de los residuos sólidos es un parámetro muy importante, para el diseño de infraestructura de tratamiento del relleno sanitario. para calcular las dimensiones de la celda diaria y el volumen del relleno; esta depende casi exclusivamente del equipo utilizado para la compactación.(MINAM, 2011).

C. Estudios topográficos.

es el estudio que permite describir las características de las diferentes perfiles del terreno a fin de clasificarlo según su pendiente, identificar el sector apropiado para relleno y para material de cobertura y facilitar la definición de método de disposición a utilizarse, el estudio concluye en un plano con curvas de nivel en escala adecuada para el diseño de detalle y con información anexa como: memoria descriptiva, planos de ubicación, plano perimétrico y la base de datos.

Para los fines de construcción y operación de un relleno sanitario, un terreno por su topografía se puede clasificar en:

- Plano.- Es aquel terreno en el que se presentan pequeñas pendientes como las mesetas y llanuras (0 a 5% de pendientes).
- Ondulado.- Se consideran terrenos, ondulados aquellos en los que la pendiente no es continua presentando partes planas y partes con pendiente media como son los valles (5 a 10% de pendiente).
- Escarpado.- Presentan una pendiente muy fuerte (mayores del 10%) como montañas, cerros, cañadas, etc.
- Banco de material de préstamo abandonado.- Es aquel terreno que se usó como banco de material y presenta grandes oquedades u hoyos que puedan ir desde 5 m a 15 m de profundidad.
- Combinado.- Es aquel que presenta 2 ó más variantes de los terrenos arriba descritos.

D. Estudio de mecánica de suelos - geotecnia.

El objetivo de este estudio geotécnico es conocer el comportamiento mecánico del suelo en el que va a construirse el relleno, su resistencia, elasticidad, etc. El proyecto ejecutivo de un relleno sanitario incluye también un estudio de permeabilidad de suelos y un estudio edafológico en laboratorio. De acuerdo al criterio del especialista debe de establecer la necesidad de efectuar otros estudios básicos con la finalidad de completarla información que se requiera para el diseño del relleno, sin perder de vista el objetivo principal que es prevenir la contaminación ambiental.

A continuación se explica algunos parámetros a tomarse en cuenta para el análisis: **D.1.**

Porosidad.- La porosidad en los suelos puede variar como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 9 Porosidad en algunos suelos

Material	Porcentaje (%)
Arenas y gravas	35-50
Arenas apisonadas	25-30
Pizarras y arcillas pizarrosas	0,5-8
Arcillas	44-47
Tierras vegetales	37-65

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

D.2. Coeficiente de Permeabilidad (K).- El coeficiente de permeabilidad (K) para diferentes tipos de suelos, varía como se indica a continuación:

Tabla 10 Coeficiente de permeabilidad k (cm./s)(Escala logarítmica)

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

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

D.3. Granulometría.- un material bien graduado (de todos tamaños) tiende a ser impermeable; una cantidad del 10% de partículas menores que pasa la malla N° 200 en arena y gravas puede hacer que el suelo sea virtualmente impermeable. Los suelos gruesos cuando carecen de finos son permeables. A medida que una arena se hace más fina y más uniforme decrece su permeabilidad.

D.4. Pruebas de permeabilidad.- Las pruebas de permeabilidad se clasifican como sigue:

En el campo.

- Pozos de absorción.
- Pozos de filtración.
- Pozos en material homogéneo.

En el laboratorio.

- Permeámetro de carga constante.

- Permeámetro de carga variable.
- Permeámetro de capilaridad horizontal.

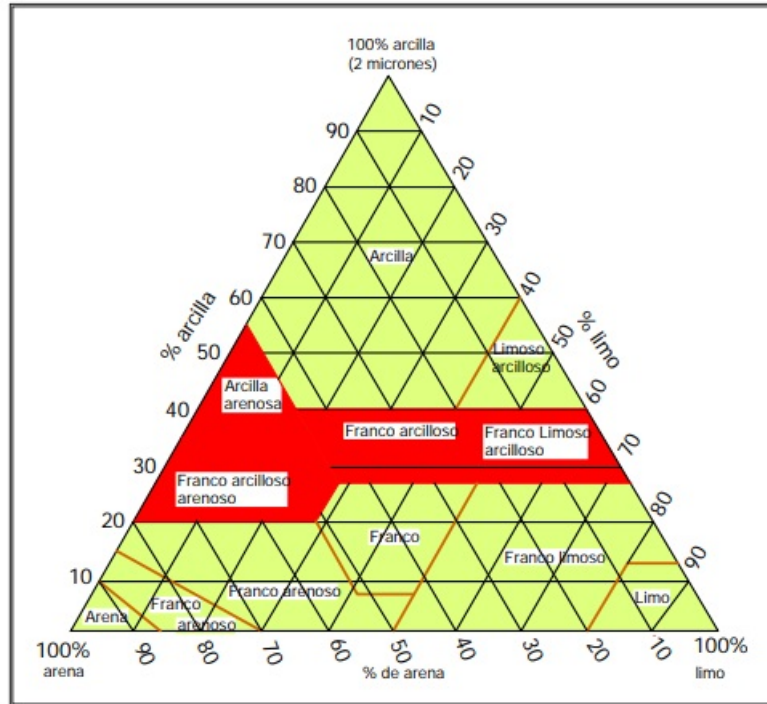


Figura 2 Diagrama triangular para la clasificación de suelos por texturas

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

E. Estudios geohidrológicos.

Uno de los factores básicos para la selección de área es evitar que pueda haber alguna contaminación de los acuíferos. Por eso es muy importante realizar un estudio geohidrológico para conocer la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, así como la dirección y velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.

El objetivo principal del estudio geohidrológico es la localización de los mantos acuíferos, así como su gasto de escurrimiento, velocidad, dirección de movimiento y los cortes estratigráficos de los suelos, de tal manera que se cuente con información acerca de la disponibilidad de tierra para cobertura y sus características geológicas, las cuales nos ayudarán a conocer el volumen disponible de material de cubierta y la línea de máxima excavación en la operación del relleno sanitario.(MINAM, 2011).

F. Estudio geofísico.

El estudio geofísico nos permite caracterizar el futuro terreno de disposición final, este permite conocer las condiciones estratigráficas y litológicas de la geometría del suelo y el

nivel freático del suelo. Además permite identificar los diferentes horizontes verticales del corte geoelectrico y correlacionarlos en forma bidimensional.

F.1. Método de prospección geoelectrica.- Es una técnica geofísica que consiste en la medición de resistividades aparentes de los materiales del subsuelo permitiendo obtener un perfil o pseudosección en 2D (longitud x profundidad).

F.2. Método geofísico de resistividad: (S.E.V.) simetrico.- Método geoelectrico indirecto normado y diseñado internacionalmente, para estudios de cortes geológicos, se emplea Sondaje Eléctrico Vertical (S.E.V.) de configuración simétrica lineal tetraelectródica (AMNB), el Dispositivo Tetraelectrónico Schlumberger empleado se muestra en la siguiente figura.

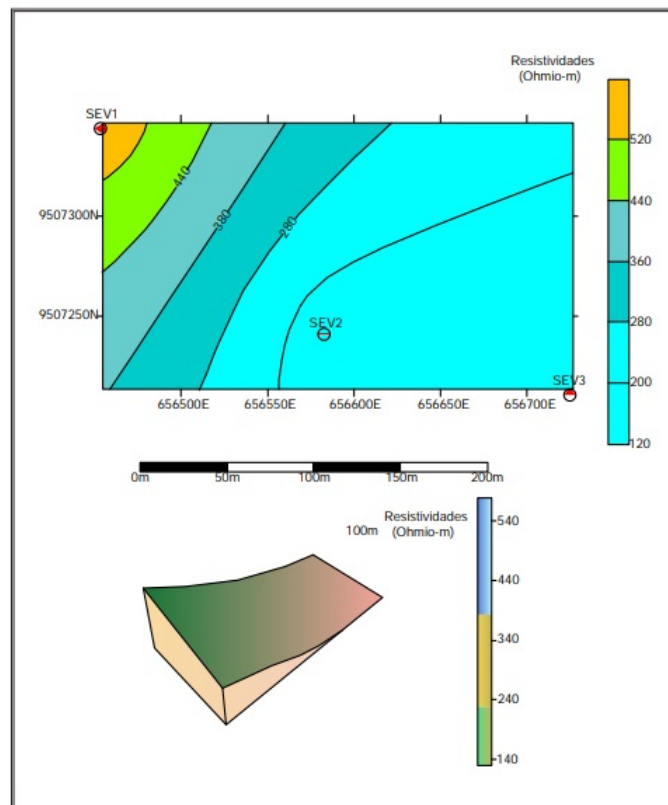


Figura 3 Mapa de resistividades

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

Tabla 11 *Número de sondeos por hectárea*

Hectareas	Numero de sondeos
1-4	3
4-9	5
09-15	7
15-21	10
21-50	12
Mas de 50	20

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

F.3. Ciclo Hidrológico.- La precipitación pluvial tiene influencia en el diseño del relleno, ya que el conocimiento de esta, en el sitio seleccionado, sera importante para el diseño de los drenajes, el cálculo de volumen de lixiviados que se generará potencialmente, el cálculo de agua de escurrimiento superficial y finalmente ayuda al diseño de las áreas de trabajo en la operación del relleno sanitario.

En lo que respecta a la operación del relleno sanitario en tiempo de lluvias, puede hacer que el material de cobertura sea mas difícil de esparcir y de compactar. Otro momento, es la dificultad en un momento dado que pueda ocasionar el transito de vehículos en los caminos dentro del área.

G. Estudio geológico.

La geología puede definirse como el estudio sistemático de los materiales, procesos, ambientes e historia de la tierra. Si bien los tres son complementarios, la naturaleza y la estructura de los materiales tienen mayor impacto en un relleno sanitario.

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas.(MINAM, 2011).

G.1. Tipos de rocas y de suelos.

Las rocas en la superficie de la tierra y los suelos que provienen de ellas, pueden subdividirse en tres tipos; cada uno corresponde a su propia modalidad de formación y se vinculan a través del ciclo geológico.

- Sedimentarias.- Las rocas en la superficie de la tierra y los suelos que provienen de

ellas, pueden subdividirse en tres tipos; cada uno corresponde a su propia modalidad de formación y se vinculan a través del ciclo geológico.

- Volcánicas.- Las rocas y los suelos volcánicos se forman a través del surgimiento y enfriamiento del magma derretido en la superficie de la tierra. La composición original del magma derretido determinará las características finales de la roca enfriada y su resistencia al clima y su facturación.
- Metamórficas.- Las rocas metamórficas son el resultado de la transformación de las rocas existentes (volcánicas o sedimentarias) mediante el calentamiento de sedimentos en la profundidad de la corteza, de la deformación durante el desarrollo de cadenas montañosas o de la proximidad de rocas volcánicas.

G.2. Riesgos geológicos.

Como se indicó anteriormente, la geología estudia los procesos de desarrollo de la tierra. La mayoría de estos procesos son lentos (por ejemplo, erosión, formación de montañas). Si embargo, algunos son muy rápidos y pueden alterar drásticamente la superficie de la tierra. La probabilidad de que estos procesos se produzcan, agrupados bajo el término de riesgos geológicos, debe evaluarse al buscar un sitio con potencial para un relleno sanitario. Los riesgos geológicos más comunes se enumeran a continuación.

- Inundaciones;
- Avalanchas y aludes;
- Zonas sísmicas activas; y
- Zonas de falla, incluidas las zonas inactivas ya que actuarían como vías de agua preferenciales.

H. Contenido mínimo de los estudios básicos.

- Geología (geología regional, geología local, geología estructural);
- Geomorfología (geomorfología regional y geomorfología local);
- Hidrología e hidrogeología (hidrología superficial e hidráulica, Hidrología subterránea);
- Geodinámica (geodinámica externa y geodinámica interna); y
- Geotecnia (generalidades, investigaciones geotécnicas, estratigrafía e identificación de suelos, resultados de los ensayos de campo, caracterización de suelos por sector, condiciones de cimentación, agresión del suelo al concreto de la cimentación, material

de cantera y acondicionamiento del área que ocupara el relleno sanitario).

2.3.4.3 Control y monitoreo ambiental.

- Control de lixiviados.

Los procesos de descomposición de los residuos sólidos en un relleno sanitario y el agua de lluvia que se infiltra originan el lixiviado (liquido que percola a través de las celdas que contienen a los residuos y sus materiales de cubierta).

En el caso de ocurrencia de una infiltración ésta será detectada por medio de los análisis de calidad de aguas establecidos en el plan de monitoreo desarrollado para el proyecto. Con la información obtenida de los análisis de las aguas subterráneas se evaluará la magnitud de la infiltración, y con ello el tipo y nivel de solución requerido.

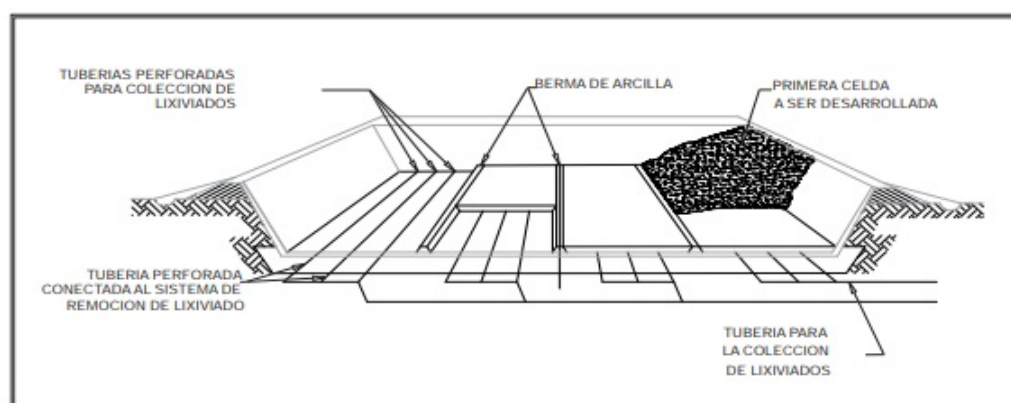


Figura 4 Distribución de tuberías para colección de lixiviados

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

En los primeros seis meses se deberá hacer una evaluación a la caja de registro de lixiviados con la finalidad de ver si requiere de una limpieza para la extracción de los lodos acumulados, si no fuera necesario se volverá a realizar este procedimiento a los 6 meses y así sucesivamente hasta encontrar el número de meses que deben de pasar para que se limpie la caja. En este caso se retirara el lodo y se revisará las condiciones de la caja, esto es que no tenga rajaduras ni grietas.

- Monitoreo de aguas subterráneas.

Se debe de considerar un pozo de monitoreo ubicado en el sitio del relleno, el cual estará ubicado a nivel de la base del relleno, pueden estar construido de asbesto-cemento o plástico, de un diámetro de aproximadamente 40 cm. Que permita la introducción de un bote de material resistente a la acidez sujetos a una madera o varilla

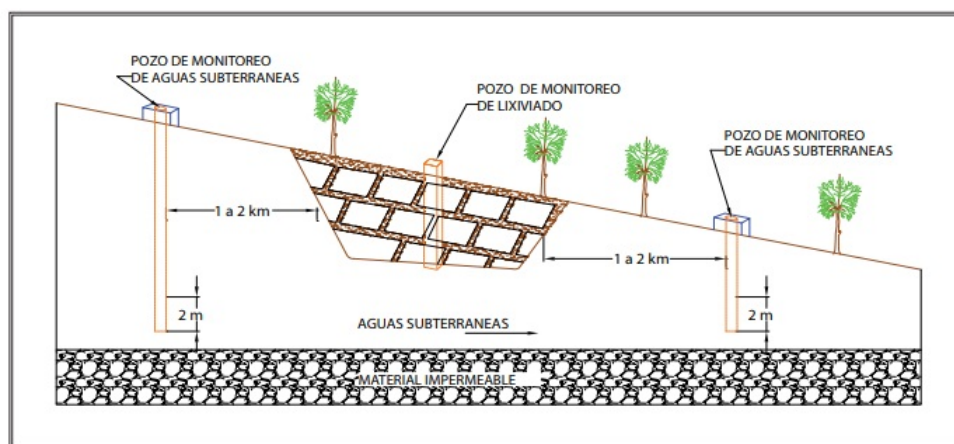


Figura 5 Localización de pozos de monitoreo de aguas subterráneas y lixiviados

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

- Control y monitoreo de gas.

En los rellenos de área, se utilizan varios niveles de celdas para dar disposición a los residuos, por lo que es probable que se tenga una producción continua de biogás después de algunos años, cuando se alcancen unos tres niveles de celdas. Por esta razón resulta conveniente instalar chimeneas de drenaje, distantes de 20 a 25 m. entre si; en realidad esta última distancia debe ser obtenida a través de estudios en el terreno, lo que permite determinar lo que se denomina radio de influencia (distancia desde el centro de la chimenea que es influenciada por el drenaje).

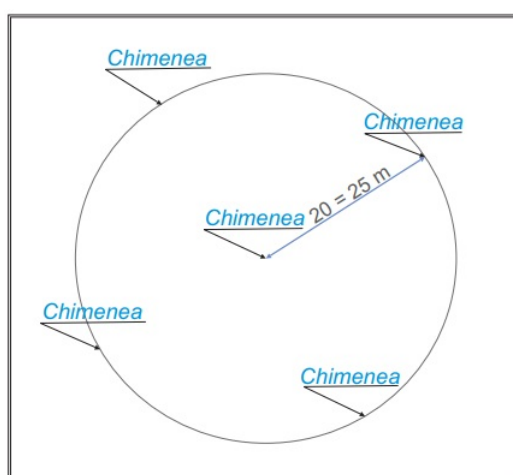


Figura 6 Distancia influenciada desde el centro de la chimenea

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

- Estándares nacionales de calidad ambiental

La vigilancia y monitoreo ambiental se ajustara a los estándares de calidad y limites máximos permisibles establecidos por la Normatividad Nacional vigente, en los estándares y/o limites que no estuvieran contempladas en ámbito nacional se asumirá los valores guía establecidos por la organización mundial de l salud - OMS.

- Decreto supremo N°004-2017-MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua;
- Decreto supremo N°003-2017-MINAM Estandares de Calidad ambiental para aire;
- Decreto supremo N°011-2017-MINAM Estandares de Calidad ambiental para suelo;

Tabla 12 *Parámetros de monitoreo ambiental*

Factor contaminante	Tipo de impacto	Parámetro
Biogas	Contaminación del aire	CO
		H2S
		SO2
		NOX
Lixiviados	Contaminación del aguas sub-superficiales y superficiales	DBO
		PH
		PLOMO
		ARSENICO
		CADMIO
		HIERRO
		PH
		ARSENICO
		MAGNESIO
Polvo	Contaminación del aire	PM 10

Fuente: Obtenido de MINAM (2011)

2.4 Marco normativo.

La legislación peruana sobre residuos sólidos es dispersa, inorgánica y heterogénea. Ha sido dictada por diversos órganos del Estado, en distintos momentos y con criterios que carecen de una direccionalidad común. Ello se percibe incluso desde las propias denominaciones que se utilizan en las normas, pudiéndose encontrar términos como: residuos sólidos, afluentes sólidos, basuras, desperdicios, desechos residuales, etc.

Asi mismo La presente investigación, se basa en las normas mencionadas como: la Norma Técnica Peruana (NTP) American Society of Testing Materials (A.S.T.M.) para el tipo

de ensayos en campo y laboratorio. Manual de Carreteras-EG-2013; y otros aspectos concerniente al tipo de material como son los residuos sólidos.

ASTM d5030.

tipo de ensayo de control en campo, para determinar la densidad por la técnica de remplazo de agua.

ASTM D2216-19.

tipo de ensayo de caracterización en laboratorio, ara determinar el contenido de humedad de suelos.

Manual de carreteras -Especificaciones técnicas generales para construcción-EG-2013.

consideraciones y aspectos técnicos del manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción, capítulo II. movimiento de tierras, sección 205 Terraplenes.

Constitución Política del Estado Peruano.

Artículo 2º.Toda persona tiene derecho: Inciso 22: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Reglamento de Ley general de residuos sólidos (D.L. N°1278).

El presente dispositivo normativo tiene como objeto reglamentar el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública.

Decreto Legislativo (N°1278).

La Disposición final, En el artículo 41. Los residuos que no puedan ser valorizados por la tecnología u otras condiciones debidamente sustentadas, deben ser aislados y/o confinados en infraestructuras debidamente autorizadas, de acuerdo a las características físicas, químicas

y biológicas del residuo con la finalidad de eliminar el potencial peligro de causar daños a la salud o al ambiente.

Ley general de residuos sólidos (Ley N° 27314).

En ella se pretende establecer un concepto único de los "residuos sólidos", y una clasificación uniforme de los mismos, para facilitar el tratamiento legal de los distintos aspectos involucrados en la gestión de los residuos sólidos. En ella se trata de regular de alguna manera todo el ciclo de vida de los residuos. Sin embargo existen algunos vacíos importantes que introducen distorsiones para la puesta en operación de un sistema integrado de gestión. De todas formas es fundamental resaltar esta ley, ya que regula todo el manejo de los desechos en el país. Los cuales no brindan temas importantes y fundamentales respecto a la gestión de residuos sólidos. El artículo 3 de esta ley, nos habla de la finalidad de la gestión de los residuos sólidos en el país, es decir, su manejo integral y sostenible, mediante la articulación, integración y compatibilización de las políticas, planes, programas, estrategias y acciones de quienes intervienen en la gestión y el manejo de los residuos sólidos.

Ley General del Ambiente,(Ley N° 28611).

Esta ley menciona que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país; Que, el artículo 3 de la citada Ley señala que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidos en la referida Ley.

Ley general de salud (Ley N° 26842).

Esta ley menciona en dos de sus artículos, aspectos vinculados a la protección y vigilancia del medio ambiente, con respecto a una inadecuada disposición de residuos sólidos.

Artículo 104°. Toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de

desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección al ambiente.

Artículo 107. El abastecimiento de agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la autoridad de salud competente, la que vigilara su cumplimiento.

Ley orgánica de municipalidad (Ley N°27972).

Según Ley, en el artículo 80, las Municipalidades provinciales y distritales son responsables de asegurar la correcta prestación de los Servicios de Recolección, Transporte y Transferencia, Disposición Final de los Residuos Sólidos y de la limpieza de vías, espacios y monumentos públicos en su jurisdicción. Los Residuos Sólidos en su totalidad deberán ser conducidos directamente a la planta de tratamiento, transferencia o al lugar de la disposición final autorizado por la Municipalidad Provincial, estando obligados los municipios distritales al pago de los derechos correspondientes.

Capítulo III

Método de la investigación

En este capítulo se desarrolló el procedimiento para la evaluación y optimización del diseño de infraestructura, mediante la estimación del volumen de disposición final y así poder determinar el tiempo de vida útil real, utilizando parámetros reales como son cantidad de residuos, densidad compactada y densidad estabilizada de residuos, porcentaje de material de cobertura, y volumen de lixiviados; del tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario; mediante la toma de datos en campo. Asimismo, se describen las metodologías y cálculos realizados en el diseño de infraestructura.

3.1 Enfoque

La investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico de investigación, procura obtener información relevante y fidedigna (digna de fe y crédito), para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Para la presente investigación seguiremos los pasos del enfoque cuantitativo. Por lo cual básicamente el estudio comprende las siguientes etapas:

1. Recopilación de información.- para iniciar el presente trabajo de investigación, se comenzó con la búsqueda y toma de información bibliográfica para definir y facilitar la realización del estudio.
2. Preparación.- Consistió en la obtención de materiales y equipos para la recopilación de datos en campo.
3. Pruebas y observación.- consistió en someter las muestras a observación; mediante la identificación y diagnóstico de características.
4. Registro.- Los datos fueron tomados directamente de la lectura de los instrumentos y equipos durante el procedimiento de los ensayos realizados; se seleccionó, organizó y relacionó los datos.
5. Análisis.- consistió en el procesamiento e interpretación de los datos recopilados, principalmente, aquí se evalúa la correlación entre las variables.

3.2 Alcance

En esta investigación se evaluó el diseño la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga; donde se realizó un análisis y aplicación directo al problema. Se concluye que el nivel de Alcance de la presente investigación es descriptiva comparativa pues tiene como objetivo la evaluación de algunas características de una situación en particular. El objetivo es describir el comportamiento o estado de un número de variables, consiste en recolectar en dos o más muestras con el propósito de observar el comportamiento de una variable, tratando de “controlar” estadísticamente otras variables que se considera pueden afectar la variable estudiada (variable dependiente).

En efecto, la presente investigación buscó el diseño de infraestructura en función de las diferentes variables que incluyen en su determinación. Así determinar el problema, como es el tiempo de vida útil real del relleno sanitario para el tratamiento de residuos sólidos generados y recolectados de la población de Huamanga, con la finalidad de explicar el efecto que se genera mediante la aplicación de la hipótesis. Los datos obtenidos se expresan en términos cuantitativos.

3.3 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es del tipo no experimental (documental y de campo), pues el objeto fue identificar las causas que producen una determinada conducta, una situación específica o un acontecimiento particular. Asimismo contribuir en la mejora del diseño de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga.

El diseño de la investigación empleado para desarrollar los objetivos planteados se clasifica como una investigación de campo, debido a que los datos e información necesaria serán obtenidas directamente del entorno real u objeto de estudio, sin manipular o controlar variable alguna.

La información y datos necesarios se obtuvo mediante observación y mediciones tomadas en la trinchera de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga,

donde se realizan los trabajos de descarga, confinamiento, compactación y cobertura de residuos sólidos, así mismo el diagnóstico del manejo de lixiviados, todo bajo la supervisión del personal de planta.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población de estudio es la infraestructura diseñada para tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga en Lindipampa.

3.4.2 Muestra del estudio

El muestreo fue no probabilístico de tipo consecutivo, pues las celdas de disposición final que se forman día a día tienen similares características de composición y conformación, básicamente para observar y obtener variables del tratamiento de residuos sólidos las cuales se realizaron durante todo el mes de octubre del año 2019 que duró la evaluación.

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

La optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinará el tiempo de vida útil real y plantear un funcionamiento adecuado del relleno sanitario de Huamanga.

3.5.2 Hipótesis específicas

1. El diagnóstico del diseño de infraestructura y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos permitirá conocer las características de la infraestructura existente y la generación de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario de Huamanga.
2. Se mejorará el diseño de la capacidad de almacenamiento de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final, utilizando parámetros reales de confinamiento en campo.
3. El manejo y diseño de tratamiento de los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final, será insuficiente en cuanto a su capacidad instalada.

3.6 Operacionalización de variables

3.6.1 Variables

Una variable es un factor, evento, situación o fenómeno que representa cierto interés dentro de la investigación y del cual se precisa conocer su intensidad o categoría. Existen básicamente dos variables que participan de todo proceso de investigación:

Variables dependientes.- son aquellas que dependen de la acción (intensidad o característica) de la variable independiente. Las variable dependiente para la presente tesis es el **diseño de infraestructura**.

Variables independientes.- aquellas que se consideran las causas. Se identifica siempre una variable cuya magnitud o característica se relaciona con otra a la cual afecta. Las variables independientes objeto de estudio en la tesis es **generación de residuos, confinamiento de residuos, capacidad de almacenamiento y generación de lixiviados**.

3.6.2 Indicadores

Indicador asociada a la variable dependiente: tiempo de vida útil(años),y celda diaria (m).

Indicador asociada a las variables independientes: cantidad de residuos (t), densidad compactada(t/m^3), densidad estabilizada (t/m^3), material de cobertura(%), volumen de disposición final (m^3), y volumen de lixiviados (m^3).La Tabla siguiente, muestra el resumen de la relación entre las variables e indicadores identificados en la presente investigación.

Tabla 13 Variables e indicadores del estudio

Variables		Indicadores	Medición
Dependientes	Diseño de infraestructura	Tiempo de vida útil	años.
		Celda diaria	m .
Independientes	Generación de residuos	Cantidad de residuos	t .
	Confinamiento de residuos	Densidad compactada	kg/m^3 .
		Densidad estabilizada	kg/m^3 .
		Material de cobertura	%.
	Capacidad de almacenamiento	Volumen de disposición final	m^3 .
	Generación de lixiviados	Volumen de lixiviado	m^3 .

Fuente: Elaboración propia

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

3.7.1.1 Técnicas de gabinete

Utilizando como instrumentos las fichas textuales y de resumen; se recurrió como fuente a artículos, ensayos, revistas, documentos oficiales concerniente al diseño de rellenos sanitarios, que sirvieron de apoyo para ordenar el desarrollo de los antecedentes, bases teóricas y marco conceptual.

3.7.1.2 Técnicas de campo

La técnica de campo que se van a utilizar son:

- a. **Observación directa.**- Se registro la situación real clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes y datos de campo de los ensayos realizados dentro de las instalaciones del relleno sanitario.
- b. **Entrevistas.**- Mediante está técnica se realizó la entrevista al personal responsable del área de gestión de residuo sólidos en los municipios distritales y provincial, Así mismo al personal encargo de la operación del relleno sanitario.

3.7.2 Instrumentos

Los instrumentos de investigación que se realizaron por el tipo observacional fueron:

- a. **Diario de campo.**- En la cual se anotaron las experiencias ocurridas y vividas durante el proceso de investigación.
- b. **Ficha de registro datos.**- Es la libreta donde se recogieron todos los datos de manera ordenada y sistematizada de interés de los ensayos.
- c. **Dispositivos electrónicos.**-Se registro mediante imágenes y videos los diversos sucesos durante la experimentación que permitieron mantener la información precisa y sin alterar los resultados.
- d. **Equipos.**- estación total y prismas, nivel topográfico y mira telescópica.
- e. **Materiales y herramientas.**- wincha metrica, flexometro, pizarra y plumones acrílicos, conos de seguridad, banderines de colores, tableros de campo, guantes profilácticos, mascarillas, zapatos de seguridad, indumentaria apropiada, casco de protección y otras herramientas necesarias.

3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Los datos tomados en campo, fueron procesadas mediante los programas de cálculo como son: Microsoft Excel, Autocad civil3D, SPSS y otros afines; que permitieron correlacionar la información, con la finalidad de contrastar los planteamientos de la hipótesis siguiendo rigurosamente los objetivos planteados.

3.9 Desarrollo del trabajo de tesis

3.9.1 Identificación de la zona de estudio

La zona de estudio, corresponde al relleno sanitario de Huamanga ubicada sobre una zona de sector de Lindipampa, comunidad campesina de Uchuypampa en el distrito de Tambillo, perteneciente a la provincia de Huamanga, ubicado en el departamento de Ayacucho. y viene a ser la única infraestructura de disposición final (IDF) de la categoría de relleno sanitario mecanizado de la ciudad de Ayacucho, autorizado por la dirección general de gestión de residuos sólidos del Ministerio del Ambiente-MINAM.

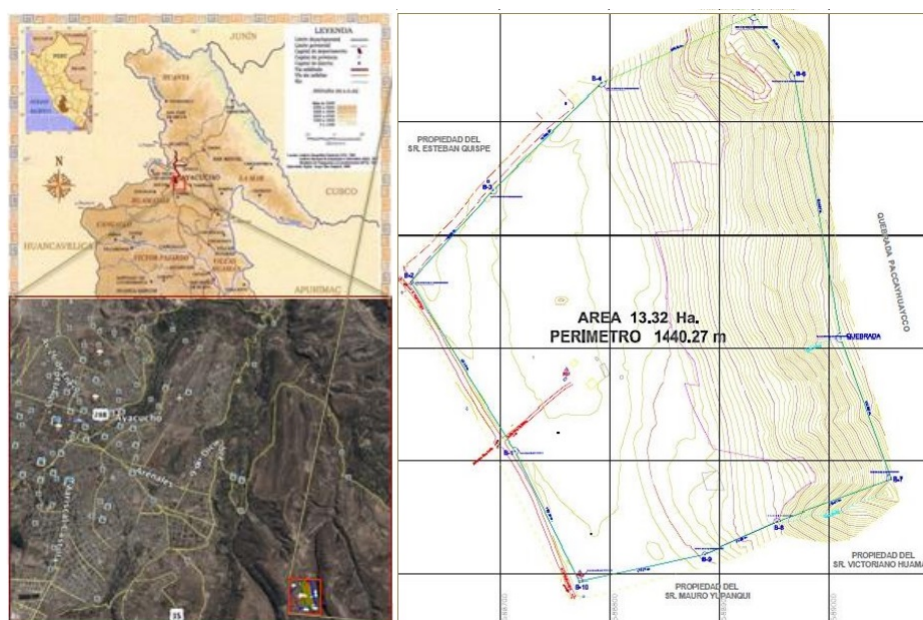


Figura 7 Mapa de ubicación de la zona de investigación

Fuente: Obtenido de MPH. (2015).

La ubicación cartográfica del predio corresponde a la carta nacional 27-ñ, zona 18 sur. Geográficamente posee las siguientes Coordenadas: E=588760.429, N=8541880.219 y una

Altitud: 2943.699 msnm.

3.9.2 Descripción del lugar de estudio

Área del terreno.- El área total donde está ubicado la infraestructura de tratamiento de residuos sólidos comprende una extensión de 13.32 ha.

Perímetro del terreno.- es de 1,440.27 m.

Vías de acceso.- el acceso desde la plaza de armas de la ciudad de Ayacucho, es por la Av. Ramón castilla, Av. Arenales, luego por la Av. 09 de diciembre hasta llegar a la ruta Huatatas, para finalmente tomar la ruta Uchuypampa donde se encuentra el relleno sanitario con una distancia aproximada de 10.2 km.

Tiempo de viaje.- es 25 minutos aproximadamente desde la ciudad de Ayacucho.



Figura 8 Acceso al relleno sanitario de Huamanga

Fuente: Elaboración propia

3.9.2.1 Topografía

Las características topográficas del predio del proyecto, comprende una extensión de 3.3 Has. en un terreno que va desde la cota de 2,840 hasta la cota 2,970 msnm. con dos áreas bien definidas una zona plana (pendiente menor del 3%) y escarpada de pendiente promedio del 33%, siendo ambos tipos de área donde se ha previsto adecuar el relleno sanitario. Para buscar el máximo aprovechamiento del terreno de acuerdo a las características del terrenos se diseñó un relleno tipo área, conformado por terrazas.

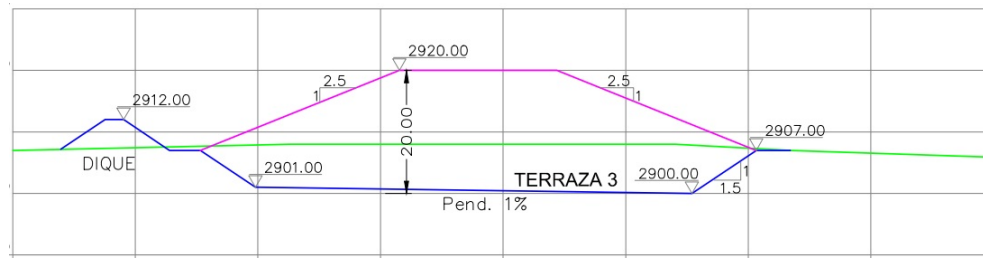


Figura 9 Sección de la terraza N°03

Fuente: Obtenido de MPH. (2015).

3.9.3 Metodología

La siguiente figura muestra el esquema del procedimiento de trabajo a realizar en la presente investigación, realizando un análisis en cada uno de los procesos y siguiendo los objetivos planteados en el planteamiento del problema.

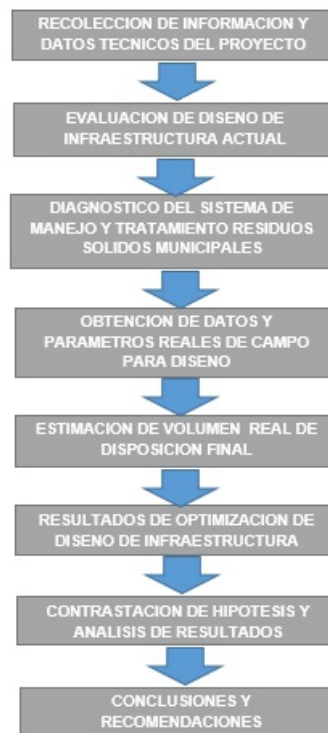


Figura 10 Diagrama de flujo de trabajo de investigación

Fuente: Elaboración propia

3.9.4 Descripción y diagnóstico del servicio de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales

3.9.4.1 Descripción y diagnostico del servicio de manejo de los residuos sólidos municipales

El manejo de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Huamanga, esta a cargo de la Unidad de Gestión de Residuos Sólidos, bajo la cual posee las coordinaciones de limpieza

publica, segregación en la fuente y disposición final.

Por lo cual a partir del año 2015 se inicio con la implementación del proyecto "Mejoramiento y ampliación de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho, y del servicio de disposición final de las ciudades de Carmen Alto, San Juan Bautista y Jesús Nazareno; provincia de Huamanga; departamento de Ayacucho", el cual fue ejecutado a través de la UE-003 MINAM con el financiamiento del JICA-BID por un monto de S/. 10,000.00 millones, con el objetivo de mejorar la calidad ambiental con un eficiente y sostenible gestión de los residuos sólidos de la ciudad de Ayacucho.

El manejo de los residuos sólidos comprende las siguientes acciones que van desde la generación hasta su disposición final:

- a. Almacenamiento de los residuos sólidos;
- b. Servicio de barrido de calles;
- c. Servicio de recolección y transporte;
- d. Servicio de reaprovechamiento; y,
- e. Servicio de disposición final de residuos sólidos.

En el siguiente gráfico se presenta el manejo actual de los residuos sólidos en Ayacucho.

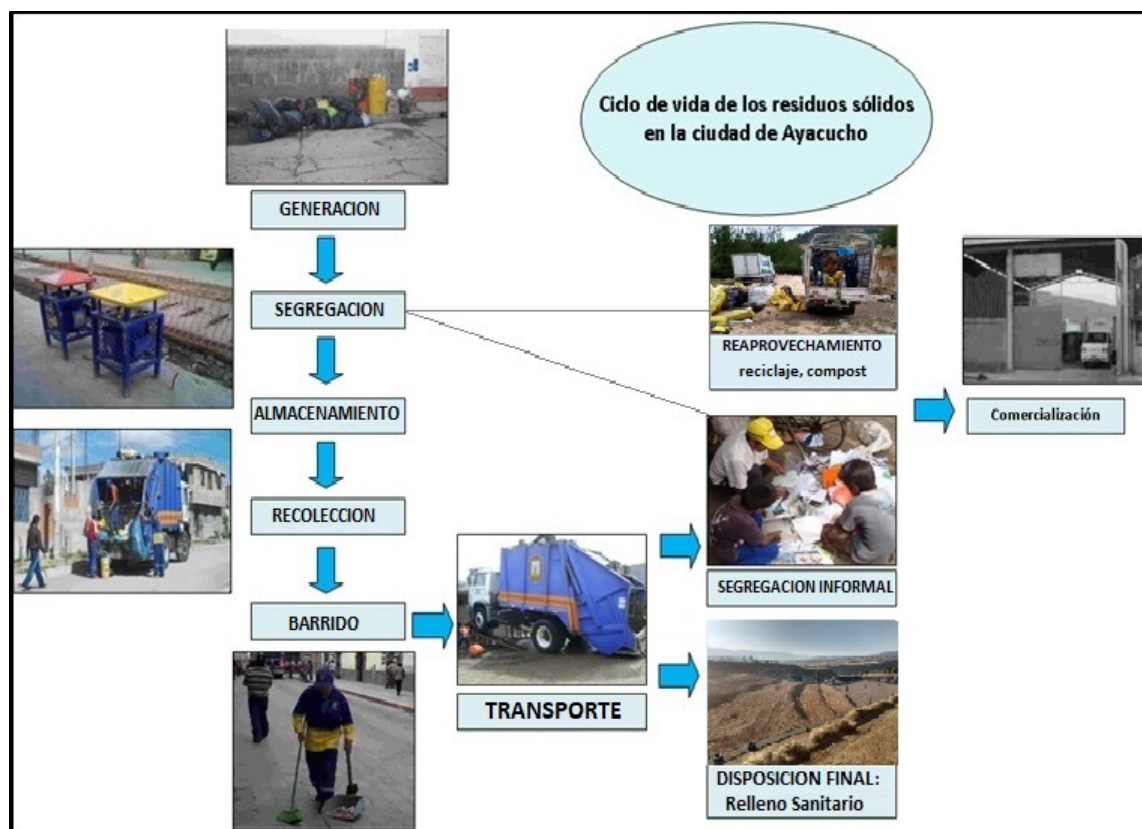


Figura 11 Situación actual del manejo de los residuos sólidos en la ciudad de Ayacucho

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH, 2019.

A. Almacenamiento de residuos sólidos:

A.1. Almacenamiento intradomiciliario.- En cuanto a los hábitos de la población para el almacenamiento de los residuos sólidos dentro del domicilio, de acuerdo al estudio de caracterización de los residuos sólidos, éste se realiza principalmente en tachos de plástico, bolsas plásticas, costales de polipropileno, cilindros y cajas.

A.2. Almacenamiento público.- Para el almacenamiento en espacios públicos, la ciudad de Ayacucho cuenta con 58 papeleras, las cuales están ubicadas en plazas, parques, plazoletas y calles comerciales. Las papeleras ubicadas en plazas y parques tienen una capacidad diferente a la que están ubicadas en calles comerciales, estas papeleras coberturan al 100% las avenidas o calles de alto flujo peatonal.

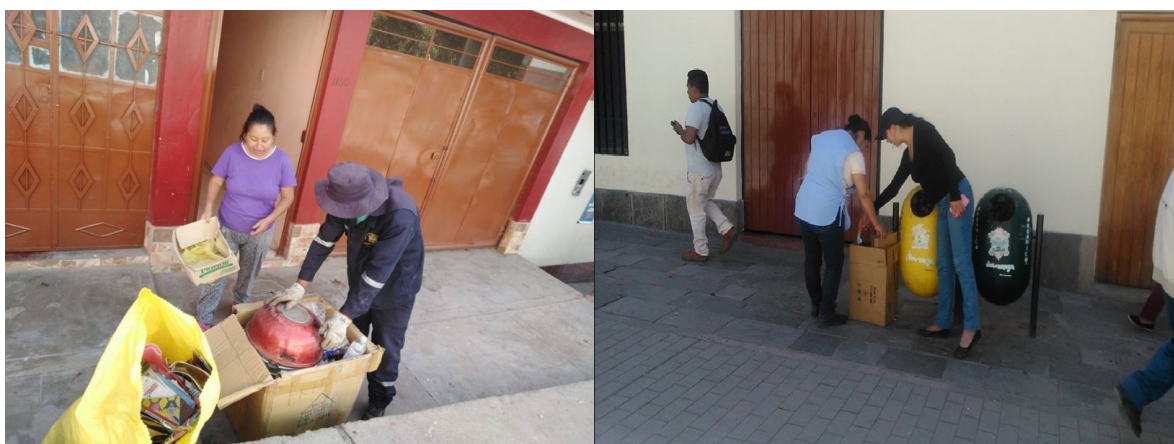


Figura 12 Almacenamiento de residuos sólidos en la ciudad de Ayacucho

Fuente: Elaboración propia

B. Servicio de barrido de calles y espacios públicos:

El servicio de barrido de calles y espacios públicos lo brinda directamente la Municipalidad Provincial de Huamanga a través de la Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-UGRS dentro de la jurisdicción del distrito de Ayacucho. Este servicio se realiza de manera manual en tres turnos del día.

Turno Mañana.- consiste en el Barrido de rutas largas y periferias de la ciudad de Huamanga. de 10.00 p.m. a 6.00 a.m

Turno Tarde.- Repaso de las calles ya barridas en la mañana, de 1.00 p.m. a 5.00 p.m.

Turno Noche.- Es el barrido a las zonas comerciales y calles principales, cabe resaltar que principalmente en este turno, es dónde es mayor la generación de residuos de barrido, debido a que en las zonas comerciales las personas dejan sus empaque y bolsas regadas en las calles. de 9.00 p.m. a 1.00 a.m.



Figura 13 Barrido de calles en la ciudad de Ayacucho

Fuente: Elaboración propia

El servicio de barrido en el distrito de Ayacucho, se realiza por zonas y consta de 57 rutas. Este servicio es brindado por 54 trabajadores adecuadamente implementados con EPP y herramientas de trabajo, que realizan limpieza y/o barrido de las diversas vías. El rendimiento promedio por trabajador es 2.0 km. El control y verificación del servicio está a cargo de un supervisor, quien supervisa el servicio de barrido y recolección.

Tabla 14 Cobertura del servicio de barrido a nivel del Distrito de Ayacucho

Km de vías públicas pavimentadas	Km de vías públicas sin pavimentar	Total de Km de vías públicas a nivel de la ciudad de Ayacucho	Km de vías públicas barridos	% cobertura de barrido de vías públicas pavimentadas	% cobertura de barrido de vías públicas a nivel del distrito de Ayacucho
118.03	12.7	130.73	107.5	86.42%	78.02%

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019

C. Servicio de recolección y transporte:

El servicio de recolección y transporte es la parte medular del sistema de limpieza pública. Es realizado por administración directa de la Municipalidad Provincial de Huamanga.

Turnos.- El servicio se brinda de lunes a sábado para la zona del centro histórico e interdiario en las zonas periféricas. El único turno de recolección es de 6 a.m. a 2 p.m., aunque generalmente hay unidades que realizan el servicio hasta las 3 p.m. sobre todo los días lunes y martes.

Equipos.- La Municipalidad cuenta con 11 vehículos de recolección convencional (10 compactadores y 01 camion furgon) y 2 no convencionales (motocargueros), además de una camioneta que sirve de retén.

En el año 2015 se adquirió 08 vehículos compactadores de 10 m^3 , con el proyecto “Mejoramiento y ampliación de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho, y del servicio de disposición final de las ciudades de San Juan Bautista, Jesús Nazareno y Carmen Alto; provincia de Huamanga; departamento de Ayacucho”. Entrando en operación el año 2016. El detalle de estos vehículos se muestra a continuación:

Tabla 15 Vehículos para el servicio de recolección y transporte de residuos sólidos municipales en el Distrito de Ayacucho.

Nº	Modelo	Marca	Placa	Año de fabricación	capacidad (m^3)
1	Compactadora	VOLKSWAGEN	XO-6350	2003	12
2	Compactadora	IVECO	EGA-269	2009	15
3	Compactadora	IVECO	EGA-297	2009	15
4	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-225	2015	10
5	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-573	2015	10
6	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-110	2015	10
7	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-111	2015	10
8	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-347	2015	10
9	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-038	2015	10
10	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGU-236	2015	10
11	camion furgon	MERCEDES BENZ	EGU-190	2015	15
12	Compactadora	MERCEDES BENZ	EGT-460	2015	10
13	Compactadora	VOLVO	WS-2017	1994	8

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019

Personal.- El servicio de recolección es brindado por 39 trabajadores bajo la modalidad CAS, y 5 son nombrados. El personal para el servicio está conformado por choferes y ayudantes, siendo la distribución general de 1 chofer con 3 ayudantes.



Figura 14 Recolección y transporte de residuos en la ciudad de Ayacucho.

Fuente: Elaboración propia

La prestación de recolección de residuos sólidos se realiza en 21 microrrutas, (3 microrrutas con recojo diario y 18 microrrutas interdiarias) actividad que se ejecuta con 11 vehículos recolectores.

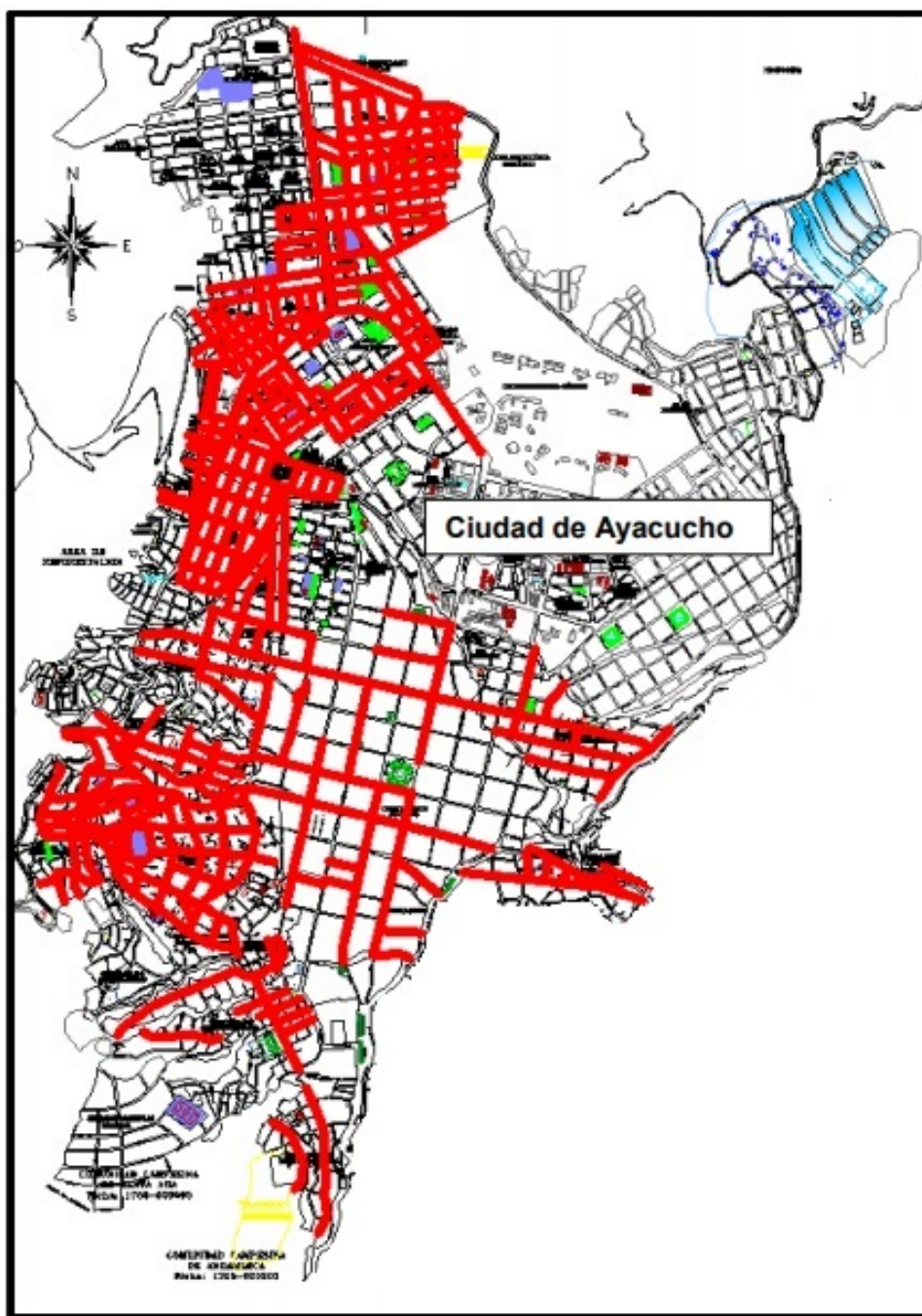


Figura 15 Rutas de recolección y transporte de residuos en la ciudad de Ayacucho.

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019

Actualmente el área de Limpieza y recolección de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Huamanga cuenta con un área destinada al depósito de resguardo de sus maquinarias (maquinaria pesada y vehículos compactadores), ubicado en las maravillas, teniendo el mismo lugar taller de maestranza lo cual involucra las siguientes infraestructuras,

en un área total de $1000m^2$:

- Oficina del responsable está a cargo de todo el local.
- Vestuario y servicios higiénicos para todo el personal de limpieza, de los talleres de maestranza y oficinas en el lugar.
- Talleres para reparación de los vehículos.
- Taller de soldadura.
- Caseta de control y vigilancia de todo el local (ingreso de vehículos y personal).
- Espacio para vehículos menores furgonetas en un espacio de $50m^2$.
- Espacio para el estacionamiento de los compactadores, volquetes, cargadores y otras maquinarias, en un espacio de $500m^2$.

D. Servicio de reaprovechamiento:

En los cinco distritos involucrados en el proyecto no se tienen programas formales de reaprovechamiento de residuos sólidos. Sin embargo, se realiza el aprovechamiento informal de residuos reciclables a través de recicladores asociados y en proceso de consolidación.

D.1. Reaprovechamiento a través de recicladores organizados.- En el año 2010, doscientos recicladores informales procedentes de los distritos de Ayacucho y San Juan Bautista, mayoritariamente, y Jesús Nazareno, Carmen Alto y algunos distritos de predominancia rural de la provincia de Huamanga, minoritariamente, conformaron ante la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP) la Asociación de Recicladores Unidos de la Región de Ayacucho, con el objetivo de mejorar el servicio ambiental que venían prestando desde la informalidad.

Circuito de la recuperación de residuos sólidos.- En el caso de los recicladores, los residuos sólidos recolectados son vendidos a intermediarios minoristas, y estos a intermediarios mayoristas que lo trasladan finalmente a Lima. Al no contar ningún reciclador, asociado y no asociado, con local de almacenamiento transportan diariamente lo recolectado a los depósitos de los intermediarios mayoristas, que pese a la informalidad existente se considera que son 03 depósitos en sitios permanentes, que son los siguientes:

Tabla 16 *Empresas comercializadoras de residuos sólidos aprovechables en la ciudad de Ayacucho - 2019.*

Nombre de empresa	Dirección
Empresa recicladora y recaudadora de materiales KABAC E.I.R.L.	Av. Iquitos Nro. 239 San Juan Bautista
CLEANLUX E.I.R.L.	Carretera Ayacucho - Quinua Km 17.5
INVERSIONES IMA SUMAQ S.A.C.	Jr. Tupac Amaru Mza. L1 Lote. 31
Asociación de recicladores unidos de la región de Ayacucho - ARURA	Av. Quinuapata

Fuente: Unidad de Gestión de residuos sólidos-MPH,2019

Precio de residuos sólidos recuperados.- En base al cuadro anterior,y las entrevistas realizadas a las municipalidades distritales, mencionan que la empresa Kabac EIRL es la mayor empresa que realiza el acopio de los recicladores formales e informales de la ciudad de Ayacucho, por lo cual según el reporte de la entrevista se obtuvo los precios de comercialización por tipo de residuo aprovechable durante el año 2019, el cual se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 17 *Precio promedio de los residuos inorgánicos aprovechables en la ciudad de Ayacucho - 2019.*

Material	Precio en el mercado
	(S/. /kg)
lata	0.30
plastico pet	0.50
plastico duro (caucho)	0.50
papel blanco	0.50
papel color	0.20
carton	0.10
coca lata	1.00
film	0.50
periódico	0.20
fierro	0.50
vidrio	0.10
aluminio	2.00

Fuente: Entrevista realizada a la empresa recicladora.

Cantidad de residuos sólidos recuperados.- A partir de la entrevista realizada a la empresa KABAC EIRL , se obtuvo el peso por tipo de residuo aprovechable durante el año 2019, el cual se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 18 Cantidad promedio mensual de ingreso de residuos inorgánicos aprovechables de la empresa acopiadora en la ciudad de Ayacucho - 2019.

Material	Und	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Lata	kg	10,272.05	7,509.40	4,972.78	11,929.64	8,061.93	12,833.79	12,532.40	4,847.20	15,973.17	19,564.62	10,598.55	0.00	119,095.52
Plastico pet	kg	16,751.73	12,457.06	9217.22	14,039.31	12,256.14	12,281.25	13,386.32	7,861.01	13,963.96	5,249.04	21,197.09	0.00	138,660.14
Plastico duro (caucho)	kg	6,956.87	3,892.83	3,490.99	9,719.52	4,596.05	4,646.28	4,545.82	3,214.73	4,370.02	9,393.02	6,052.72	0.00	60,878.86
Papel blanco	kg	13,737.93	12,683.10	15,345.29	2,662.19	9,292.56	11,075.73	6,605.26	2,712.42	12,105.45	7,157.79	2,863.11	0.00	96,240.83
Papel color	kg	24,562.51	30,715.69	25,994.07	3,239.84	34,935.02	22,176.58	31770.53	0.00	28,153.96	24,411.82	7,007.10	0.00	232,967.11
Carton	kg	65,299.10	75,746.96	43,072.29	82,603.37	67,107.39	71,301.60	90414.14	38325.55	107944.44	74842.82	80719.74	0.00	797,377.40
Coca lata	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.69	0.00	0.00	200.92	150.69	0.00	502.30
Film	kg	3,541.22	9,342.79	8,262.85	12,231.02	14,491.38	9,970.67	13,059.82	7,308.48	12,708.21	22,377.50	17,454.95	0.00	130,748.90
Fierro	kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2411.04	0.00	0.00	2,411.04
Vidrio	kg	29,736.21	17,480.07	20,192.49	36,693.07	44,227.59	18,760.93	34,256.91	26,948.44	30,916.61	29,384.60	19,966.46	0.00	308,563.38
Aluminio	kg	100.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	251.15	0.00	0.00	0.00	150.69	0.00	502.30
Total mensual	kg	170,958.08	169,827.90	130,547.98	173,117.97	194,968.06	163,046.84	206,973.04	91,217.83	226,135.82	194,993.17	166,161.10	0.00	1,887947.79
Promedio diario	kg/dia	5,698.60	5,660.93	4,351.60	5,770.60	6,498.94	5,434.89	6,899.10	3,040.59	7,537.86	6,499.77	5,538.70	0.00	
Promedio diario	t/dia	5.70	5.66	4.35	5.77	6.50	5.43	6.90	3.04	7.54	6.50	5.54	0.00	5.72

Fuente: Entrevista realizada a la empresa recicladora

D.2. Reaprovechamiento a través de recicladores informales.- el reciclaje se logra a través de tres maneras; la primera a partir de recicladores formalizados, segunda a través de recicladores informales y el tercero a través del programa municipal de segregación en la fuente.

Para lo cual de acuerdo a la recolección de información, se tiene que a través de recicladores informales son considerados por los segregadores informales que realizan en recojo en vehículos motorizados menores (triciclos y autos), y en el camión recolector por los trabajadores del servicio de recolección. Entonces a partir de ello se tiene la siguiente tabla de recojo de material reutilizable:

Tabla 19 *Ingresos por residuos sólidos aprovechables de recicladores informales*

Material	Precio en el mercado S/. /kg	Promedio recuperado (t/día)	Monto Parcial (S/.)
Lata	0.30	0.56	168.00
Plastico PET	0.50	0.65	326.67
Plastico duro	0.50	0.75	373.33
Papel blanco	0.50	0.28	140.00
Papel color	0.20	0.37	74.67
vidrio	0.10	0.19	18.67
total diario (S/.)			1,101.33
total mensual (S/.)			33,040.00
total anual (S/.)			396,480.00

Fuente: Entrevista realizada a los recicladores.

D.3. Programa de segregación en la fuente (recolección selectiva municipal).- La Municipalidad Provincial de Huamanga, en la búsqueda de brindar servicios de calidad a sus vecinos y bajo su política de respeto ambiental, ve por necesario implementar un programa de reciclaje de residuos sólidos de segregación en la fuente. En cumplimiento de la normativa vigente, Ley N°27314, Ley General de Residuos Sólidos, y con la iniciativa municipal de ampliar la cobertura de servicio a otras zonas del distrito de Ayacucho.

Por otro lado, el Ministerio de Economía y Finanzas ha incluido dentro del componente de Servicios Públicos del Plan de Incentivos y Programa de Modernización Municipal, que las municipalidades deben implementar el programa de segregación en la fuente en la población del distrito de Ayacucho. Como parte del proceso de mejora del servicio

de residuos sólidos; esto favorece a nivel local el reaprovechamiento de residuos sólidos, permitiendo la formalización de recicladores, la sensibilización ambiental y el retorno de residuos reciclables a los procesos productivos. Dicho programa se centra en dos actividades específicas, que son:

Recolección selectiva de residuos sólidos inorgánicos reciclables.- los cuales son transportados a la planta de rea-provechamiento y valorización de residuos, ubicado en el relleno sanitario de Huamanga, donde realizan las labores de selección, prensado, transporte y comercialización.



Figura 16 Recojo de residuos inorgánicos aprovechables en la ciudad de Ayacucho.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la investigación realizada, se tiene que el programa de segregación se viene implementando en los cinco distritos metropolitanos de la ciudad de Ayacucho, los cuales vienen recuperando residuos sólidos inorgánicos aprovechables, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 20 *Residuos sólidos inorgánicos aprovechables recuperados por el programa de segregación municipal en la ciudad de Ayacucho.*

Institución	residuos sólidos inorgánicos	
	t/mes	t/día
M. P. Huamanga	26.67	0.89
M. D. San Juan Bautista	14.06	0.47
M. D. Jesus Nazareno	2.87	0.10
M. D. Andres Avelino Caceres	6.89	0.23
M. D. Carmen Alto	3.98	0.13
Total mensual	54.47	-
Promedio diario	-	1.82

Fuente: Entrevista realizada a las municipalidades, 2019.

Recolección selectiva de residuos sólidos orgánicos compostificables.- los cuales son transportados a la planta de reaprovechamiento y valorización de residuos, ubicado en el relleno sanitario de Huamanga, para poder realizar la producción de compost y humus de lombrices.



Figura 17 Recojo de residuos orgánicos compostificables en la ciudad de Ayacucho.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la investigación realizada, se tiene que el programa de segregación se viene implementando en los cinco distritos metropolitanos de la ciudad de Ayacucho, los cuales vienen recuperando residuos sólidos orgánicos compostificables, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21 *Residuos sólidos orgánicos compostificables recuperados por el programa de segregación municipal en la ciudad de Ayacucho.*

Institución	residuos sólidos orgánicos	
	t/mes	t/día
M.P. Huamanga	8.59	0.29
M. D. San Juan Bautista	1.70	0.06
M. D. Jesús Nazareno	13.00	0.43
M. D. Andres Avelino Caceres	3,35	0.11
M. D. Carmen Alto	4.32	0.14
Total mensual	30.96	-
Promedio diario	-	1.03

Fuente: Entrevista realizada a las municipalidades, 2019.

Sostenibilidad del programa de segregación en la fuente.- Este programa segregación en la fuente que viene implementado cada municipio distrital, según el resultado de las entrevistas realizadas, son un plan piloto que solo se viene desarrollando en algunas zonas y/o barrios dentro de la jurisdicción de cada uno de los 05 distritos de la ciudad de Ayacucho; más no en toda la zona urbana del distrito, como si es el servicio de recojo de residuos sólidos municipales.

Se tiene que el producto de los residuos sólidos orgánicos compostificables es la obtención de Compost y humus, los cuales son obsequiados como incentivos a todos los participantes activos que vienen entregando de manera permanente sus residuos segregados durante todo el año.

Estos programas de segregación en la fuente trabajan con un solo solo vehículo recolector y personal de recojo limitado, que tiene un plan de rutas de recojo semanal, por las zonas elegidas, por lo cual poseen un presupuesto limitado anual para la contrata del personal.

Así mismo todos los residuos sólidos inorgánicos aprovechables recuperados son comercializados de manera semanal; a partir del cual con el producto de la venta, se viene realizando la adquisición de materiales como son herramientas manuales, materiales de difusión como afiches y stickers, materiales de limpieza y materiales de protección como son guantes, mascararas, botas, etc. Siendo al mas considerable la adquisición de materiales para los participantes como son costales y baldes para que realicen el almacenamiento en sus viviendas.



Figura 18 Inscripción de participantes y entrega de incentivos del programa segregación

Fuente: Entrevista realizada a las municipalidades, 2019

E. Servicio de disposición final de residuos sólidos municipales:

La disposición final es la última etapa operacional del servicio de limpieza pública. El cual ha venido utilizando distintos predios, a lo largo de los últimos 15 años, bajo la siguiente descripción: Del año 2005 al 2013, se utilizaba el botadero ubicado en el sector Uchucruz - Mollepampa, que se encuentra a una distancia de 10.00 Km. fuera de la ciudad. A la fecha el área ocupada con residuos sólidos es de 10.00 ha.

Del año 2014 al 2016, se utilizaba el botadero ubicado en el sector - uchuypampa, que se encuentra a una distancia de 10.5 Km. fuera de la ciudad. A la fecha el área ocupada con residuos sólidos es de 3.00 ha.

Del año 2017 al 2018, se utilizaba el botadero ubicado en el sector Ccorihuillca, que se encuentra a una distancia de 21.0 Km. fuera de la ciudad. A la fecha el área ocupada con residuos sólidos es de 1.00 ha.

Actualmente, los vehículos recolectores transportan los residuos sólidos al relleno sanitario de Huamanga ubicado en la localidad de Lindipampa, que se encuentra a una distancia de 10.2 Km. fuera de la ciudad. A la fecha el área ocupada con residuos sólidos es de 13.32 ha.

3.9.4.2 Descripción y diagnostico del servicio de tratamiento de los residuos sólidos municipales:

A. Relleno sanitario de Huamanga.

El relleno sanitario de Huamanga es inaugurado el 09 de diciembre del año 2017; pero luego de un proceso de adecuación, fue a partir del mes de mayo del 2018, donde inicia sus operaciones para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho.

Según el registro de ingreso de residuos la cantidad promedio que ingresa al relleno sanitario durante el año 2019 es de 163.25 t/día de residuos sólidos; de los cinco distritos metropolitanos de la ciudad de Ayacucho, que son los municipios de Huamanga, San Juan bautista, Carmen Alto, Jesus Nazareno y Andres Ávelino Caceres Dorregaray.

B. Descripción del Lugar.

El terreno destinado a la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la ciudad de Ayacucho tiene un área total de 13.32 ha., se ubica sobre un área del sector de Lindipampa, comunidad campesina de Uchuypampa en el distrito de Tambillo.

El relleno sanitario no es de propiedad municipal, el terreno se encuentra en calidad de cesión, el cual fue cedido por los propietarios del predio por un periodo de 30 años.

C. Infraestructura del relleno sanitario.

El relleno sanitario posee instalaciones que son : vías externas e internas, instalaciones administrativas (caseta de control, unidad de pesaje y área de administración) y de servicios (cocina, vestuarios, servicios higiénicos) e instalaciones de tratamiento de residuos sólidos.

C.1. Vías de acceso.

Vía externa.- se tiene una vía de 0.03 Km. que viene desde la vía existente hasta el ingreso a la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Vía interna.- se tiene una vía de acceso interior de 1.35 Km. para el acceso de los vehículos de recolección y otros equipos hasta las zonas destinadas a la disposición final de residuos. La superficie de rodadura será mejorada mediante un lastrado usando material proveniente de cantera.



Figura 19 Ingreso principal y vías de acceso interno del relleno sanitario

Fuente: Elaboración propia

C.2. Infraestructura administrativa y de servicios

. La infraestructura administrativa y de servicios contempla los siguientes:

- **Caseta de vigilancia y control.-** este ambiente de 9.25 m^2 construido de material noble, esta ubicado al ingreso del complejo cerca al cerco perimétrico.
- **Caseta de registro y pesaje.-** este módulo de 5.29 m^2 es el punto de control para realizar el registro y pesaje de los vehículos de recolección, así como el registro de ingreso y salida del personal asignado a la infraestructura. La estructura de apoyo para la balanza electrónica, estará ubicada en el borde de la vía de acceso, la misma que estará provista de las transiciones para el normal ingreso y salida de las unidades de recolección.
- **Oficina administrativa.-** este módulo ocupa un área de 55.50 m^2 , donde funciona un

área de administración de infraestructura, un área de oficina técnica y sala de reuniones.

- **Caseta de grupo electrógeno.-** en este ambiente las paredes estarán cubiertas con material aislante a prueba de fuego similar al rockwool, las dimensiones y ubicación de las ventanas las que deberán estar protegidas con mallas, serán coordinadas con el fabricante del grupo electrógeno para su correcta ventilación. El grupo electrógeno tiene una potencia de arranque mínima de 200 KW., el cual es alimentado diariamente por combustible del tanque de acero al carbón.
- **Almacén para materiales y herramientas.-** es un ambiente donde se almacena los materiales, herramientas, útiles y todo material que rutinariamente se utilizan en la operación de la infraestructura, todo en un área de $40.56 m^2$.
- **Comedor y cocina.-** es un ambiente utilizado como comedor, el mismo que tiene una pequeña cocina equipada con mesa y sillas, todo en un área de $40.28 m^2$.
- **Servicios higiénicos y vestuario.-** para el uso del personal asignado a la operación de la infraestructura, es un ambiente que posee servicios higiénicos y vestuarios (para hombre y mujer) el cual tiene un área de $48.05 m^2$.
- **Estructura sanitaria.-** para el abastecimiento de agua que se realiza a través de una red de agua fría con tuberías de PVC (clase A-10 roscada), que van ha 2 tanques prefabricados de 1,100 L. cada uno, que son abastecidos por camiones cisternas. Estos tanques están a una altura de 5 m para ello se tiene una estructura de base y columnas de concreto donde el agua es impulsada por una bomba de 1 HP.



Figura 20 Infraestructuras administrativas y de servicio del relleno sanitario

Fuente: Elaboración propia

C.3. Infraestructura para tratamiento de residuos sólidos.

- **terrazza de disposición final.-** que es una celda impermeabilizada con geomembrana de polietileno de alta densidad de 1.5 mm de espesor y encima otra geotextil no tejido de protección.

- **Chimeneas para gases.**- se tienen chimeneas con estructura de madera, malla metálica de gallinero y piedra mediana de máximo 8”, dejando espacio en el centro para la tubería de PVC con perforaciones laterales de 150 mm que atraviesen en sentido vertical todo el relleno. El ancho de la chimenea es de 0.60 m., y su altura es variable dependiendo de la plataforma en que se estará trabajando pudiendo variar según la topografía del terreno y su proceso es por etapas de tal forma que a medida que se vienen realizando los rellenos de basura respectivamente se incrementara en tamaño.



Figura 21 Terraza de disposición final y chimeneas para gases

Fuente: Elaboración propia

- **Manejo del lixiviado.**- se tiene implementado toda una infraestructura de tratamiento bajo el método de recirculación de lixiviado, para ello se dispone de una poza de lixiviado (5 m x 5 m) de concreto reforzado. y dentro de la terraza de disposición final se tiene de drenes armados con un anillo de concreto donde va una tubería de PVC de 4” conectado a la poza de lixiviados sobre una pendiente de 2%, a fin de recircular con la ayuda de la electrobomba hacia los aspersores ubicados en la celda. Los drenes de lixiviado consisten en una red horizontal de zanjas de piedra, en el fondo de la celda.



Figura 22 Poza de lixiviados y tanque de recirculación

Fuente: Elaboración propia

- **Cerco perimetrico.**- que con el fin de minimizar los impactos al relleno sanitario, que podrían causar personas ajenas o animales, se tiene delimitado el área con un cerco de

palos de madera, protegido con alambre de púas. El cerco perimétrico evita además el libre desplazamiento, de tal manera que el ingreso y salida de los vehículos y personas autorizadas sea en forma ordenada y controlada.

Finalmente tenemos un esquema general de todas las instalaciones del relleno sanitario de Huamanga, que se describen en la siguiente figura:



Figura 23 Esquema general de las instalaciones del relleno sanitario

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH, 2019

D. Etapas de operación para la disposición final.

D.1. Ingreso y registro de residuos a la disposición final.- El ingreso de residuos sólidos al relleno sanitario se debe registrar para tener conocimiento y evidencia de su traslado a la infraestructura de disposición final y de la fecha y hora de ingreso del personal al relleno.

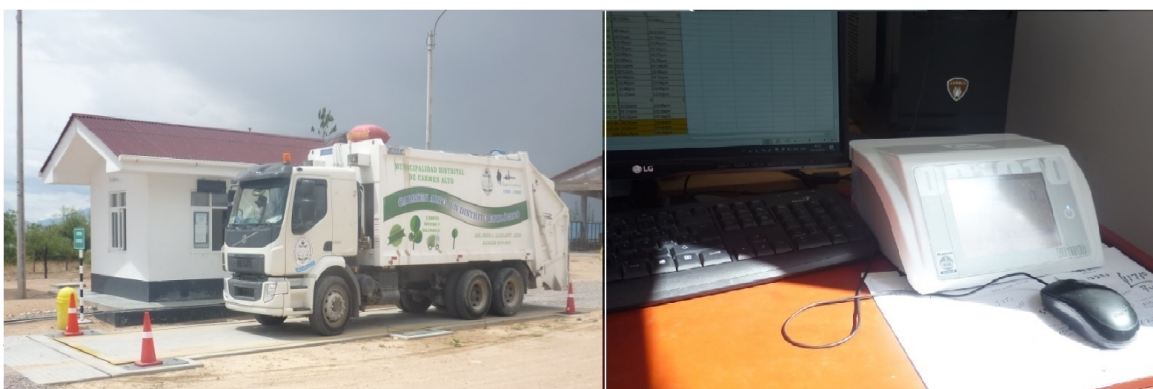


Figura 24 Control de peso de residuos sólidos en balanza de plataforma digital

Fuente: Elaboración propia

D.2. Vaciado o descarga de residuos sólidos.- Es la operación mediante la cual la unidad que realiza el transporte de los residuos sólidos a la infraestructura de tratamiento deposita estos en el espacio especialmente acondicionado para esta operación (celda de relleno sanitario); al llegar los residuos a esta operación ya vienen con una densidad modificada desde su generación, principalmente si son dispuestas por vehículos compactadores.



Figura 25 Ingreso y descarga de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

D.3. Esparcimiento y compactación.- Esta operación se da en los grandes rellenos sanitarios mecanizados y semi mecanizados (que manejan más de 20 t/día, de acuerdo a la Guía de diseño, construcción y operación de relleno sanitario manual publicada por

el MINAM el 2010), con maquinaria pesada, y en los rellenos sanitarios de operación manual se da con un pizón o con un rodillo manual; mediante esta operación se distribuyen los residuos de manera uniforme en la zona de disposición o celda, y a la vez se compactan, de modo que se asegure una descomposición de los residuos sólidos orgánicos de manera uniforme; es necesario tener en cuenta que por los procesos de compresión y la biodegradación de algunos residuos, se irán modificando las superficies generadas por esta operación.



Figura 26 Compactación de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

D.4. Cobertura de residuos sólidos.- Mediante esta operación se aplica material de cobertura, principalmente tierra con la mayor cantidad posible de arcilla; de modo que se logre confinar los residuos en la celda acondicionada y que se cuente con una superficie nueva en la parte superior de la celda en la que se ha aplicado el material de cobertura; esto permitirá contar con una nueva superficie para la disposición de residuos sólidos.



Figura 27 Cobertura de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

D.5. Drenaje de lixiviados.- Los lixiviados deberán ser canalizados a través de una red de

drenaje hacia una poza; estos deberán ser evacuados periódicamente, dependiendo de su generación; se continúa con su evacuación mediante la recirculación a las celdas de disposición final.

D.6. Drenaje de gases.- La evacuación de gases se llevará a cabo mediante la colocación de drenes para gases, los cuales van colocados sostenidos con una base de apoyo de piedras, de manera vertical; es importante monitorear la calidad del gas evacuado y la cantidad, ya que la generación de gas es un indicador del nivel de descomposición de los residuos sólidos en el relleno sanitario.



Figura 28 Descarga de lixiviados en pozas; y gases a través de chimeneas

Fuente: Elaboración propia

E. Personal.

Se tiene personal técnico y operario, los cuales deben cumplir estrictamente las medidas de seguridad y EPPs. las cuales están distribuidos bajo el siguiente detalle:

Tabla 22 *Personal que labora en el relleno sanitario.*

Descripción	Cantidad
Ingeniero Coordinador	1.00
Promotor ambiental	1.00
operador de compactador	1.00
operador de tractor de orugas	1.00
operador de excavadora sobre orugas	1.00
operador de minicargador	1.00
chofer de volquete	1.00
balancero	2.00
vigilante	2.00
obrero de plataforma	3.00
Total	14.00

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019

F. Maquinarias, equipos y herramientas.

se cuenta con maquinaria pesada: un tractor sobre oruga o buldócer, un compactador pata de cabra, una excavadora sobre oruga, un minicargador sobre llantas y un volquete, los cuales tienen la capacidad de manejar las toneladas de residuos dispuestos cada día, también se cuenta con una balanza para pesaje (para 40 a 60 toneladas), un generador eléctrico y dos electrobombas.

Tabla 23 *Maquinaria y equipos del relleno sanitario.*

Descripción	Cantidad
Tractor compactador BOMAG - BC -472 RB	1.00
Tractor sobre oruga D5k XL-CAT	1.00
excavadora sobre oruga FIAT- ALLIS	1.00
minicargador L-225	1,00
Camión volquete HINO 1525, 10 m ³	1.00
Balanza para pesaje (para 40 - 60 toneladas)	1.00
Generador Eléctrico	1.00
Electrobomba	2.00

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019

G. Cantidad de residuos sólidos municipales dispuestos.

De acuerdo al reporte del control de ingreso, donde se realiza pesado en la balanza de plataforma, se tiene el registro total desde el inicio de operaciones de la infraestructura de la terraza N°03 del relleno sanitario.

Para el año 2018 es necesario aclarar que el ingreso de residuos sólidos al relleno sanitario, fue de manera parcial, ya que también se disponía en el botadero controlado de Huamanpampa, ubicado en la localidad de Ccorihuillca. Este botadero controlado viene funcionando desde el año 2017, el cual tenía previsto su cierre hasta el mes de diciembre del año 2018; razón por la cual se venía disponiendo la mayor parte en este botadero, aproximadamente el 70%, y solo el restante de 30% en el relleno sanitario de Lindipampa desde agosto ha diciembre de año 2018.

El reporte de cantidad mensual total dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga del año 2019, si considera el total de residuos sólidos municipales, del servicio de recojo y transporte de residuos sólidos de cada uno de los cinco municipios distritales.

Tabla 24 Cantidad mensual total de residuos sólidos municipales dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2018.

Municipalidad/Entidad	Resumen Anual 2018 - Ingreso de residuos sólidos municipales al relleno sanitario de Huamanga (t)												Total por
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	distrito (t)
M.P. Huamanga	-	-	-	-	430.83	482.22	1,579.46	1,195.64	2,366.88	860.09	4.39	413.02	7,332.53
M.D. San Juan Bautista	-	-	-	-	223.01	239.28	775.22	529.52	905.14	322.17	35.34	198.83	3,228.51
M.D. Jesus Nazareno	-	-	-	-	81.51	94.45	329.94	203.42	372.15	134.71	37.97	78.43	1,332.58
M.D. Carmen Alto	-	-	-	-	68.42	118.10	347.45	228.73	379.54	126.92	86.82	82.39	1,438.37
M.D. Andres A. Caceres D.	-	-	-	-	59.97	75.60	257.50	168.74	309.67	150.33	163.39	60.57	1,245.77
Otros: beneficencia-INPE	-	-	-	-	7.78	11.98	40.71	26.14	49.32	23.16	4.39	10.93	174.41
Total mensual (t)	0.00	0.00	0.00	0.00	871.52	1,021.63	3,330.28	2,352.19	4,382.70	1,617.38	332.30	844.17	14,752.17
Promedio diario (t/dia)	0.00	0.00	0.00	0.00	29.05	34.05	111.01	78.41	146.09	53.91	11.08	28.14	61.47

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019.

Tabla 25 Cantidad mensual total de residuos sólidos municipales dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2019.

Municipalidad/Entidad	Resumen Anual 2019 - Ingreso de residuos solidos municipales al relleno sanitario de Huamanga (t)												Total por
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	distrito (t)
M.P. Huamanga	2,421.63	2,626.96	2,897.84	2,921.25	2,589.87	2,377.74	2,521.93	2,294.01	2,339	2,592	-	-	25,582.65
M.D. San Juan Bautista	1,065.86	1,019.62	1,174.30	1,158.89	1,052.11	933.27	995.03	904.99	971	1,004	-	-	10,278.90
M.D. Jesus Nazareno	406.44	390.10	435.86	438.99	407.76	364.77	393.97	367.22	375	398	-	-	3,978.08
M.D. Carmen Alto	392.14	392.79	404.55	430.15	395.21	323.45	371.39	332.84	352	370	-	-	3,764.63
M.D. Andres A. Caceres D.	460.57	461.33	514.17	559.43	499.45	437.75	473.12	443.09	443	487	-	-	4,779.40
Otros: beneficencia-INPE	56.85	57.90	62.03	58.11	70.32	61.26	57.46	58.30	48	62	-	-	592.68
Total mensual (t)	4,803.49	4,948.70	5,488.75	5,566.82	5,014.72	4,498.24	4,812.90	4,400.45	4,527.93	4,914.33	0.00	0.00	48,976.34
Promedio diario (t/dia)	160.12	164.96	182.96	185.56	167.16	149.94	160.43	146.68	150.93	163.81	0.00	0.00	163.25

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019



Figura 29 Cantidad promedio mensual que ingresan al relleno sanitario de Huamanga

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Cantidad promedio diario de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario de Huamanga - 2019.

Municipalidad/Entidad	Ingreso promedio mensual (t)	ingreso promedio diario (t)
M.P. Huamanga	2,558.26	85.27
M.D. San Juan Bautista	1,027.08	34,26
M.D. Jesus Nazareno	397.80	13,26
M.D. Carmen Alto	376.46	12.54
M.D. Andres A. Caceres D.	477.94	15.93
Otros: beneficiencia - INPE	59.26	1.97
Total (t)	4,897.63	163.25

Fuente: Unidad de Gestión de residuos sólidos-MPH,2019.

H. Características de las dimensiones de la infraestructura existente.

Para determinar las características de la infraestructura existente que es la terraza N°03, se recurrió a los planos de diseño, así mismo se realizó un replanteo con equipos topográficos y poder determinar así ciertas medidas como son: las dimensiones, alturas, talud, volúmenes, etc.

En la siguiente figura se muestra la celda de la infraestructura de la terraza N°03, debidamente impermeabilizado; el cual viene realizando las operaciones de tratamiento de los residuos sólidos municipales en forma diaria, así mismo se observan los drenes, las pozas de lixiviados, áreas administrativas y de reaprovechamiento, y las vías internas.



Figura 30 Terraza actual de disposición final.

Fuente: imagen satelital del earth

De acuerdo al diseño evaluado y al replanteo de los planos, se obtuvo las características iniciales de la terraza actual que es la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, destinada para la disposición final durante todo el horizonte del proyecto, con una capacidad útil proyectada de $335,871.11 \text{ m}^3$.

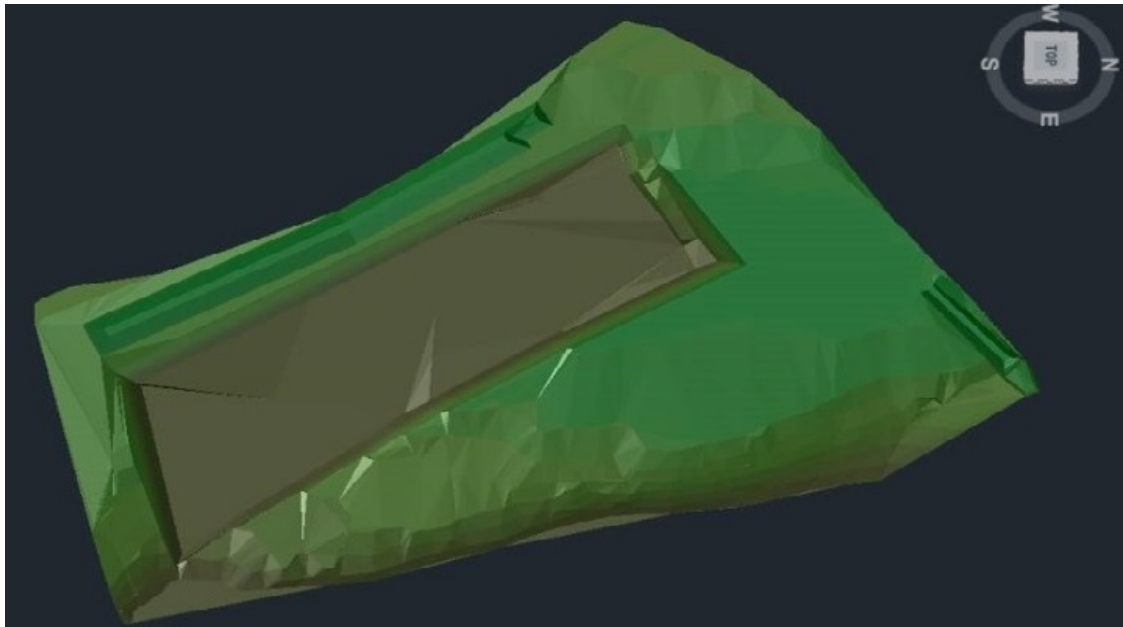


Figura 31 Terraza vacía sin volumen de disposición final.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se tiene el volumen acumulado actual de confinamiento con residuos sólidos, que tiene ya un funcionamiento regular de 1.05 años desde el inicio de operaciones de la

infraestructura, el cual posee un total de $112,667.93 \text{ m}^3$ de volumen acumulado.

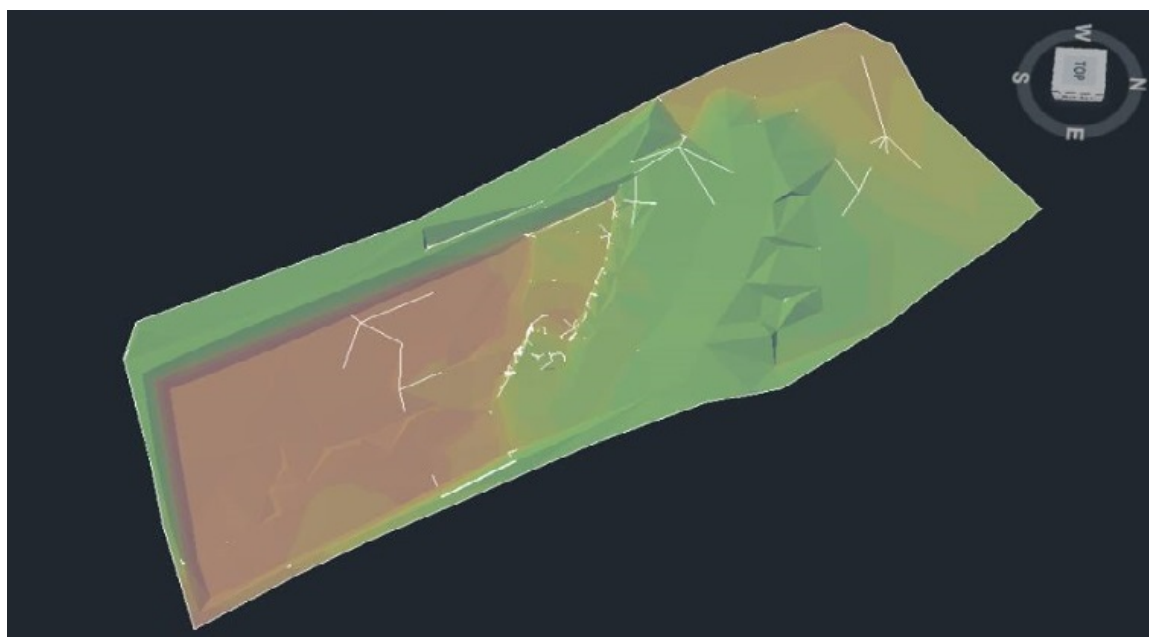


Figura 32 Terraza actual con volumen de disposición final.

Fuente: Elaboración propia

También se tiene el volumen proyectado de disposición final, que posee una altura de 20.0 m de la terraza, el cual de acuerdo al previsto para una capacidad de $335,871.11 \text{ m}^3$ y de acuerdo al volumen ya dispuesto a la fecha, se tiene aun una capacidad disponible de $223,203.18 \text{ m}^3$ para uso como disposición final de residuos sólidos municipales.



Figura 33 Terraza proyectada con volumen de disposición final.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la estimación de volumen según las características del terreno replanteado, se tiene que actualmente esta en uso un 33.55 % con residuos sólidos confinados.

3.9.5 Proceso de recolección de datos de campo y laboratorio

La recolección de datos de campo se hizo de manera ordenada y empírica en la trinchera del tratamiento de los residuos sólidos que ingresan de manera diaria a las instalaciones del relleno sanitario.

3.9.5.1 Identificación de parámetros y obtención de datos

En la presente investigación se evalúa el diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, puesto que el tiempo de vida útil se va reduciendo cada vez más. Por ello se ha determinado ciertas factores que influyen en ello, como son: generación y tipo de residuos, el confinamiento y compactación de los residuos, la capacidad de almacenamiento del terreno y la generación de lixiviados.

Así mismo los factores que determinan específicamente el confinamiento como son: densidad compactada y estabilizada de residuos, y material de cobertura. Identificado el problema, se comienza a analizar el proceso de diseño de infraestructura, por lo cual se determinó que los parámetros que influyen directamente en la obtención del tiempo de vida útil son: generación de residuos, confinamiento de residuos y capacidad del terreno.

Ficha de registro de datos.- Dentro de esta investigación utilizaremos una ficha de reporte, la cual nos servirá para la obtención y registro de los datos requeridos, para luego se pueda procesar numéricamente de forma sencilla los parámetros y características, que tomaremos para su evaluación.

3.9.5.2 Ensayo de la densidad compactada de residuos en campo

a. Horarios de recepción de residuos sólidos

La recepción de residuos sólidos en el relleno sanitario se realiza las 24 horas del día, divididos en dos turnos de trabajo de la siguiente manera:

Tabla 27 Turnos de trabajo del relleno sanitario.

trabajos de tratamiento de residuos solidos	Horarios de turno de trabajo	
	dia	tarde-noche
	8:00am -2:00pm	2:00pm -8:00am
Pesado	X	X
Descarga	X	X
Compactación	X	-
Cobertura material	X	-

Fuente: Unidad de Gestión de Residuos Sólidos-MPH,2019.

b. Cálculo de la densidad de compactación

Los cálculos y mediciones se realizaron en el mes de octubre del año 2019, bajo el siguiente procedimiento de ensayo:

b.1. Medición y trazo.- se identificó el área proyectada por el personal operativo para los trabajos de confinamiento de residuos sólidos, donde se realizó la medición y trazo de la celda diaria.



Figura 34 Medición y trazo de la celda diaria.

Fuente: Elaboración propia

b.2. Marcación y nivelación.- luego de realizar el trazo del área destinada para la conformación de la celda diaria, se procedió a marcar el perímetro con banderines de colores para poder identificar dicha área, para luego realizar el levantamiento topográfico con el equipo nivel de ingeniero y determinar el nivel que conforman los puntos de dicha área.



Figura 35 Marcación y nivelación de la celda diaria.

Fuente: Elaboración propia

b.3. Confinamiento de la celda diaria.- El área destinada a la celda diaria de operación no se encuentran definidas ni normalizada en cuanto a sus dimensiones, las cuales presentan áreas un tanto irregulares, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 36 Trabajos de confinamiento de residuos sólidos en la celda diaria.

Fuente: Elaboración propia

Al final de la jornada de trabajo de confinamiento de residuos sólidos se toma los puntos del relleno con el equipo nivel de ingeniero y wincha métrica, para poder determinar el volumen de relleno que conforma la celda diaria.



Figura 37 Relleno con residuos en la conformación de la celda diaria.

Fuente: Elaboración propia

b.4. Cantidad de residuos sólidos dispuesto por turnos.- se distribuye, de acuerdo al horario de ingreso la cantidad de residuos sólidos dispuestos en la celda diaria de las diferentes municipalidades; esta información se registro en el formato N°01: Dimensiones de la celda diaria.

b.5. Volumen de residuos sólidos compactados.- en la siguiente tabla se presenta un resumen de la cantidad de residuos sólidos dispuestos en la celda diaria de las diferentes municipalidades por turnos de trabajo, así mismo el detalle del área cubierta y su respectiva altura alcanzada:

Tabla 28 *Dimensionamiento de volumen de celda diaria.*

fecha	Peso confinado			Area	Altura
	peso turno noche	peso turno día	peso total		
	(kg)	(kg)	(kg)		
01/10/2019	39,210.0	180,490.0	219,700.0	297.3	1.20
02/10/2019	20,570.0	146,660.0	167,230.0	168.9	1.30
03/10/2019	18,670.0	140,970.0	159,640.0	183.0	1.20
04/10/2019	24,400.0	139,120.0	163,520.0	216.6	1.10
05/10/2019	32,420.0	135,070.0	167,490.0	245.0	0.95
06/10/2019				-	-
07/10/2019	41,533.0	218,020.0	259,553.0	294.3	1.15
08/10/2019	21,520.0	139,900.0	161,420.0	285.0	1.09
09/10/2019	18,690.0	157,330.0	176,020.0	202.5	1.12
10/10/2019	32,020.0	123,120.0	155,140.0	202.5	1.23
11/10/2019	53,990.0	121,150.0	175,140.0	202.0	1.33
12/10/2019	40,310.0	114,500.0	154,810.0	203.8	1.32
13/10/2019				-	-
14/10/2019	58,750.0	174,920.0	233,670.0	275.7	1.14
15/10/2019	46,680.0	185,250.0	231,930.0	286.9	1.13
16/10/2019	24,800.0	142,140.0	166,940.0	215.0	1.14
17/10/2019	14,090.0	124,540.0	138,630.0	195.0	1.16
18/10/2019	27,310.0	137,460.0	164,770.0	179.6	1.17
19/10/2019	28,920.0	121,550.0	150,470.0	178.6	1.19
20/10/2019			-	-	-
21/10/2019	49,840.0	184,870.0	234,710.0	244.0	1.36
22/10/2019	42,010.0	190,820.0	232,830.0	205.6	1.44
23/10/2019	31,880.0	148,630.0	180,510.0	165.9	1.43
24/10/2019	18,530.0	129,440.0	147,970.0	159.8	1.36
25/10/2019	19,030.0	141,730.0	160,760.0	162.8	1.30
26/10/2019	20,230.0	135,740.0	155,970.0	166.8	1.23
27/10/2019				-	-
28/10/2019	53,110.0	158,970.0	212,080.0	255.4	1.26
29/10/2019	64,380.0	176,550.0	240,930.0	272.6	1.25
30/10/2019	46,010.0	133,640.0	179,650.0	182.7	1.23
31/10/2019	36,100.0	109,550.0	145,650.0	171.8	1.16

Fuente: Elaboración propia.

b.6. Cálculo de la densidad de compactación

Con los datos de la tabla anterior, se calcula las densidades de compactación obtenidas por los actuales compactadores, para lo cual se emplea la fórmula siguiente:

$$D_c = \frac{M_C}{V_C} \quad (3.1)$$

Donde:

D_C = Densidad de residuos sólidos compactados, (t/m^3) .

M_C = Peso de residuos sólidos compactados, $(t/día)$.

V_C = Volumen de residuos sólidos compactados, $(m^3/día)$.

3.9.5.3 Ensayo de la cantidad de material de cobertura utilizado

a. Cantidad de material de cobertura transportado

Luego de realizar el confinamiento por capas y relleno de residuos sólidos en la celda diaria, el personal operativo encargado de la cobertura realiza el traslado de material desde la cantera hacia la celda, para lo cual se midió el volumen de material transportado.



Figura 38 Identificación y transporte de material de cobertura

Fuente: Elaboración propia

b. Cantidad de material de cobertura en celda diaria

De igual manera se determinó el volumen de material de cobertura utilizado en la celda diaria para los trabajos de cobertura y sellado de residuos sólidos confinados, para lo cual se realizó las mediciones con el equipo nivel de ingeniero y wincha métrica.



Figura 39 Cobertura y nivelación de la celda diaria.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente en el formato N°02: material de cobertura en celda diaria, se obtuvo el volumen de material de cobertura, donde se especifica el área cubierta de la celda diaria y el espesor promedio.

c. Tipo de material de cobertura

De los estudios de suelos realizados en el expediente técnico del proyecto, establecen que el tipo de material está compuesto por limos y arcillas de baja y media plasticidad, compuesta también por material gravoso de diámetro de $D=10-100$ mm, que apoya en la estabilidad de la cobertura para impedir posibles hundimientos de los vehículos en la conformación de las celdas.



Figura 40 Cubicación y tipo de material de cobertura

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 *Volumen de material de cobertura en celda diaria.*

N°	dia	Fecha	Carguo y Transporte			Cubierta en celda	
			N° palas	N° Volquetes	Capacidad (m ³)	Volumen (m ³)	Altura (m)
1	Martes	01/10/2019	10	19	6	114	0.390
2	Miércoles	02/10/2019	10	15	6	90	0.402
3	Jueves	03/10/2019	10	15	6	90	0.371
4	Viernes	04/10/2019	10	14	6	84	0.355
5	Sábado	05/10/2019	10	13	6	78	0.309
6	Domingo	06/10/2019					
7	Lunes	07/10/2019	10	20	6	120	0.411
8	Martes	08/10/2019	10	18	6	108	0.325
9	Miércoles	09/10/2019	10	16	6	96	0.387
10	Jueves	10/10/2019	10	14	6	84	0.377
11	Viernes	11/10/2019	10	16	6	96	0.409
12	Sábado	12/10/2019	10	12	6	72	0.381
13	Domingo	13/10/2019					
14	Lunes	14/10/2019	10	18	6	108	0.401
15	Martes	15/10/2019	10	18	6	108	0.359
16	Miércoles	16/10/2019	10	17	6	102	0.436
17	Jueves	17/10/2019	10	13	6	78	0.355
18	Viernes	18/10/2019	10	14	6	84	0.386
19	Sábado	19/10/2019	10	13	6	78	0.371
20	Domingo	20/10/2019					
21	Lunes	21/10/2019	10	18	6	108	0.366
22	Martes	22/10/2019	10	17	6	102	0.415
23	Miércoles	23/10/2019	10	15	6	90	0.400
24	Jueves	24/10/2019	10	14	6	84	0.381
25	Viernes	25/10/2019	10	13	6	78	0.373
26	Sábado	26/10/2019	10	13	6	78	0.396
27	Domingo	27/10/2019					
28	Lunes	28/10/2019	10	17	6	102	0.365
29	Martes	29/10/2019	10	17	6	102	0.324
30	Miércoles	30/10/2019	10	15	6	90	0.370
31	Jueves	31/10/2019	10	12	6	72	0.391

Fuente: Elaboración propia

3.9.5.4 Ensayo de la densidad estabilizada de residuos en campo.

Para realizar este ensayo, se optó por el método de determinación de densidad in-situ ASTM 5030 - densidad por remplazo de volumen de agua, el cual menciona ciertas consideraciones para la ejecución del ensayo.

a. Cálculo de la densidad de estabilización.

a.1. Acondicionamiento y extracción de muestras.- primero se realizó el marcado de la superficie, el cual está previamente identificado.



Figura 41 Marcación y retiro de material de cobertura

Fuente: Elaboración propia

Luego proceder a la excavación para retirar primeramente la capa de tierra o material de cobertura que en este caso tenía un espesor aproximado de $h=35-40\text{cm}$, una vez tenida a la vista expuesta los residuos sólidos, se procedió a nivelar y colocar el anillo metálico de $d=1.80\text{m}$.



Figura 42 Acondicionamiento y extracción de muestras

Fuente: Elaboración propia

Luego con la misma maquinaria se extrajo la muestra de residuos sólidos estabilizados formando un hoyo al interior del anillo guía, para finalmente determinar las dimensiones de ancho y altura conformada del hoyo realizado.



Figura 43 Obtención de muestra y caracterización del hoyo formado

Fuente: Elaboración propia

a.2. Cantidad de residuos sólidos estabilizados.- Luego de realizado la extracción de residuos sólidos estabilizados del hoyo, posteriormente se procedió a pesar toda la muestra extraída con el uso de un cilindro metálico y una balanza analítica de 200kg de capacidad, para finalmente determinar el peso del total de la muestra extraída.



Figura 44 Pesaje de los residuos sólidos estabilizados

Fuente: Elaboración propia

a.3. Volumen de residuos sólidos estabilizados.- continuando con el procedimiento del ensayo, se colocó plástico fill sobre el hoyo. Así mismo se realizó el marcado y pesaje de los baldes para medir el peso del agua utilizado.



Figura 45 Acondicionamiento de materiales para determinación de volumen

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se derramó agua sobre el plástico que cubre el hoyo, hasta el nivel del anillo metálico. para así determinar el peso total de agua utilizado en cubrir el hoyo extraído de material de residuos sólidos estabilizados.



Figura 46 Volumen de los residuos sólidos estabilizados

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Valores obtenidos del ensayo de densidad estabilizada

N ^a	Tiempo vida (meses)	Fecha	Peso material extraído(kg)	peso agua(kg)
1	06 meses	09/11/2019	220.180	286.275
2	06 meses	09/11/2019	245.120	303.625
3	06 meses	09/11/2019	225.520	294.950
4	12 meses	11/11/2019	240.450	312.300
5	12 meses	11/11/2019	211.550	260.250
6	12 meses	11/11/2019	250.340	320.975

Fuente: Elaboración propia

a.4. Cálculo de la densidad estabilizada de residuos.- Con los datos de la tabla anterior, se calcula la densidad estabilizada de residuos, para lo cual se emplea la fórmula siguiente:

$$D_E = \frac{M_E}{V_E} \quad (3.2)$$

Donde:

D_E = Densidad de residuos sólidos estabilizados, (t/m^3) .

M_E = Peso de residuos sólidos estabilizados, ($t/día$) .

V_E = Volumen de residuos sólidos estabilizados, ($m^3/día$) .

3.9.5.5 Análisis de la humedad de residuos estabilizados en laboratorio

Para realizar este ensayo, se optó por el método de determinación de humedad en laboratorio según ASTM D-2216 que es la determinación de suelos en base seca. Así mismo se calculó la humedad en base húmeda según los datos arrojados del laboratorio.

a. Cálculo de la Humedad de los residuos estabilizados. Los cálculos y mediciones se realizaron en el mes de octubre del presente año 2019, bajo el siguiente procedimiento:

a.1. Obtención de muestras.- En el ensayo de densidad estabilizada de residuos, se tomó muestras representativas para determinar la humedad respectiva en laboratorio.



Figura 47 Obtención de muestras de residuos estabilizados

Fuente: Elaboración propia

a.2. Peso húmedo de la muestra.- Aquí se procede a acondicionar la muestra, registrando la masa inicial respectiva y el contenedor respectivo, para luego colocarlo en el horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por un tiempo de 24 horas a más, hasta alcanzar una masa constante.



Figura 48 Peso de muestras de residuos estabilizados

Fuente: Elaboración propia

a.3. Peso después del secado.- Pasado el tiempo de secado detallado anteriormente en el horno, se procedió a retirar el contenedor con la muestra seca, para enfriar el material y poder ser pesado con la misma balanza utilizada inicialmente.



Figura 49 Peso seco de residuos sólidos estabilizados

Fuente: Elaboración propia

a.4. Cálculo de la Humedad en base húmeda.- Con los datos de laboratorio, se calculó la Humedad en base húmeda de las muestras, para lo cual se emplea la fórmula siguiente:

$$W = \frac{W_w}{W_{rs}} * 100 \quad (3.3)$$

Donde:

W = contenido de humedad de los residuos sólidos estabilizados, (%).

W_w = masa de agua, (gr).

W_{rs} = masa húmedo de los residuos sólidos estabilizados, (gr).

3.9.6 Metodología y procedimiento de evaluación de diseño de infraestructura existente.

Se realizó una descripción del planteamiento del análisis, primeramente una evaluación de la infraestructura existente del relleno sanitario. A partir de ellos se desarrollo los cálculos para la optimización de diseño de infraestructura.

La metodología de evaluación de diseño de infraestructura, se inició con la obtención de información necesaria, como es el estudio definitivo del proyecto: "Mejoramiento y Ampliación de la Gestión Integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho, y del servicio de disposición final de las ciudades de Carmen Alto, San Juan Bautista y Jesús Nazareno; provincia de Huamanga; departamento de Ayacucho" del año 2015.

Los datos geológicos, geotécnicos y topográficos se han sido tomados de los estudios definitivos del expediente técnico de construcción del relleno sanitario de Huamanga, aprobado el año 2015.

La metodología de optimización de diseño, se ha desarrollado en base a "la Guía de diseño, construcción operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado" del ministerio del ambiente del año 2011, Así mismo se ha tomado las consideraciones de la "Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales", del autor Jorge Jaramillo del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS (OPS/OMS) del año 2012.

El levantamiento de la información se realizó mediante la aplicación de entrevistas al personal de las municipalidades distritales de San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno y Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, quienes están directamente involucrados en la gestión de los residuos sólidos municipales, y en la Municipalidad provincial de Huamanga que esta encargado de la operación de la infraestructura del relleno sanitario, como son las coordinaciones de limpieza y recolección, programa de segregación en la fuente y la coordinación de disposición final.

A partir de las entrevistas desarrolladas, se obtuvo los estudios locales aprobados por la Municipalidades, como son el PIGARS: Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de Huamanga del año 2017, el ECRS: estudio de caracterización de residuos sólidos y el PMRS-Plan de Manejo de residuos sólidos de los municipios distritales del año 2019.

Posteriormente como ya se menciona al inicio de la descripción del desarrollo del trabajo de investigación, se ha realizado ensayos de campo en el relleno sanitario, para la obtención de datos reales del proceso de confinamiento de residuos sólidos como son: cantidad de residuos sólidos que ingresan diariamente, densidad compactada de residuo sólidos, densidad estabilizada de residuos sólidos, porcentaje de material de cobertura, y volumen de disposición final. Adicionalmente se realizó el levantamiento topográfico de las infraestructura de tratamiento de residuos, para corroborar el replanteo respectivo de obra con los planos de estudio definitivo.

Finalmente se ha realizado entrevistas a la mayor empresa privada acopiadora de residuos sólidos de la ciudad de Ayacucho, para determinar la cantidad anual por tipo de residuo sólido aprovechable y su respectivo precio en el mercado.

3.9.6.1 Diseño evaluado.

Se realiza en base al estudio definitivo a nivel de expediente técnico del proyecto: "Mejoramiento y ampliación de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho, y del servicio de disposición final de las ciudades de Carmen Alto, San Juan Bautista y Jesús Nazareno; provincia de Huamanga; departamento de Ayacucho." con SNIP N°152498, dicho estudio fue realizado el año 2014, luego fue actualizado los costos y presupuestos en noviembre del 2015.

En dicho estudio indica que el inicio de las operaciones de la futura infraestructura del relleno sanitario se realizarían a partir del año 2015, razón por la cual los parámetros de diseño están proyectados a partir del año mencionado.

Pero dicho año solo se ejecutó el componente de implementación con materiales, equipos y vehículos del servicio de limpieza y recolección se inició el 2015, pero la ejecución de obra de lo que es el componente de infraestructura del relleno sanitario se realizó el año 2017, iniciándose así realmente las operaciones en mayo del 2018.

Procedimiento y cálculos:

Entonces de acuerdo a la evaluación del diseño de infraestructura realizada, se tiene el siguiente procedimiento:

a. Población.

a.1. Tasa de crecimiento.- La población beneficiadas con el proyecto corresponde a los habitantes de las zonas urbanas de los distritos de Ayacucho, San Juan Bautista, Carmen Alto y Jesús Nazareno para el año 2014.

a.2. Proyección de la población.- El cálculo de la población futura realizada muestra la población beneficiada para el horizonte del proyecto.

Tabla 31 *Proyección de la población*

		población urbana del distrito de Ayacucho	población urbana del distrito de Carmen alto	población urbana del distrito de San Juan Bautista	población urbana del distrito de Jesús Nazareno	población urbana total
Año	tasa crec.	3.12%	3.84%	3.35%	3.12%	3.12%
0	2014	122,801	22,510	48,627	17,754	211,692
1	2015	126,636	23,410	50,317	18,309	218,672
2	2016	130,590	24,330	52,039	18,881	225,841
3	2017	134,669	25,270	53,793	19,470	233,202
4	2018	138,874	26,229	55,579	20,078	240,761
5	2019	143,211	27,208	57,397	20,705	248,521
6	2020	147,683	28,207	59,246	21,352	256,488
7	2021	152,295	29,225	61,127	22,019	264,666
8	2022	157,052	30,263	63,040	22,706	273,061
9	2023	161,956	31,320	64,985	23,416	281,677
10	2024	167,014	3,2398	66,962	24,147	290,520

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

b. Características del terreno.

b.1. Capacidad de la infraestructura para tratamiento de residuos.- El terreno destinado a la infraestructura de tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la ciudad de Ayacucho, tiene un área total de 13.32 ha, un perímetro de 1,440.27 m

b.2. Excavación de fondos y taludes.- los taludes de excavación tendrán una pendiente de 1.5H:1V, y la pendiente del fondo sera 2%. se dejaran superficies planas(nivelación de fondo y perfilado de taludes). Se retiraran cualquier material rocoso angular que pueda ocasionar daño posterior a la geomembrana.

c. Generación de residuos sólidos.

c.1. Generación de residuos sólidos domiciliarios.- La cantidad de residuos generados por una ciudad se determina a partir del conocimiento de la generación per cápita(GPC) domiciliaria y de la cantidad de habitantes. El valor de la GPC fue proyectada con una tasa de crecimiento de 1.0% siendo para el año 2014 de 0.697 kg/hab/día.

Con los datos de GPC y la población de los distritos de Ayacucho, Carmen Alto, San Juan Bautista y Jesus Nazareno, se cálculo la generación total de residuos sólidos domiciliarios, estimada en 147.5 t/día para el año 2014.

Tabla 32 *Generación de residuos sólidos domiciliarios*

Año	Población Ayacucho	población San Juan Bautista	población Jesús Nazareno	población Carmen alto	población total de las 4 ciudades	GPC domestica kg/hab/día Ayacucho	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)
2014	122,801	48,627	17,754	22,510	211,692	0.697	147.5

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

De igual manera se tiene la composición de los residuos sólidos domiciliarios en las poblaciones objeto. Pues es una variable a tener en cuenta tanto en el diseño del relleno sanitario como en los procesos e infraestructuras de reaprovechamiento (construcción futura).

Tabla 33 *Composición de los residuos sólidos domiciliarios*

Tipo de residuo	Ayacucho	Carmen alto	San Juan Bautista	Jesús Nazareno
A. residuos reaprovechables (AI + AII)	84.73%	85.51%	91.47%	85.41%
A.I. residuos orgánicos	56.32%	36.60%	51.75%	47.82%
A.II. residuos reciclables	28.41%	48.91%	39.72%	37.59%
papel	6.52%	8.82%	9.08%	12.42%
cartón	4.73%	3.15%	13.91%	9.79%
vidrios	2.99%	7.34%	6.01%	6.15%
plásticos	9.20%	20.38%	7.71%	9.15%
tetrapack	1.95%	2.03%	1.34%	1.29%
metales	3.02%	7.19%	1.67%	1.79%
B. residuos no reaprovechables	15.27%	14.49%	8.53%	14.59%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

c.2. Generación de residuos sólidos no domiciliarios.- los residuos sólidos comerciales y de mercados provienen de los establecimientos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 34 *Generación de residuos sólidos no domiciliarios*

Ciudades	generación (t/día)
Ayacucho	38.51
Carmen alto	2.15
San Juan Bautista	7.01
Jesús Nazareno	2.61
Total	50.28

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

c.3. Proyecciones de generación de residuos.- con los datos de la GPC y la población calculados al año 2014 se ha proyectado la generación de residuos sólidos municipales (domiciliarios y no domiciliarios) para el horizonte de evaluación del proyecto que va del año 1 (2015) al año 10 (2024). en la siguiente tabla se presenta esta proyección.

Tabla 35 *Proyección de la generación de residuos sólidos municipales*

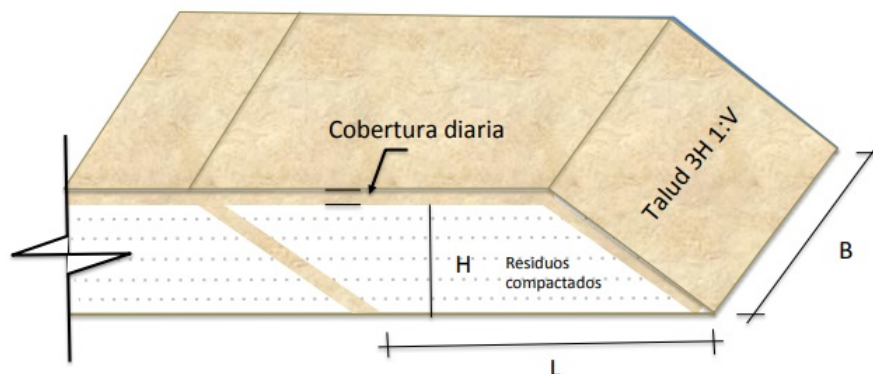
Año		Población 4 ciudades	GPC domestica Ayacucho kg/hab/día	RSD 4 ciudades (t/día)	RSND Ayacucho (t/día)	RSND San Juan Bautista (t/día)	RSND Jesus Nazareno (t/día)	RSND Carmen Alto (t/día)	RSND total (t/día)	RSM (t/día)	RSM (t/año)
0	2014	211,692	0.697	147.5	38.51	7.01	2.61	2.15	50.28	197.8	72,199.9
1	2015	218,672	0.704	153.9	39.71	7.24	2.69	2.24	51.88	205.8	75,115.8
2	2016	225,841	0.711	160.6	40.95	7.49	2.77	2.32	53.53	214.1	78,140.5
3	2017	233,202	0.718	167.5	42.23	7.74	2.86	2.41	55.24	222.7	81,277.7
4	2018	240,761	0.725	174.6	43.55	8.00	2.95	2.50	57.00	231.6	84,531.5
5	2019	248,521	0.733	182.1	44.91	8.26	3.04	2.60	58.81	240.8	87,905.8
6	2020	256,488	0.740	189.8	46.31	8.54	3.13	2.70	60.69	250.4	91,404.9
7	2021	264,666	0.747	197.8	47.76	8.83	3.23	2.80	62.62	260.4	95,033.1
8	2022	273,061	0.755	206.1	49.25	9.12	3.33	2.91	64.62	270.7	98,795.0
9	2023	281,677	0.762	214.7	50.79	9.43	3.44	3.02	66.67	281.4	102,695.1
10	2024	290,520	0.770	223.7	52.37	9.74	3.54	3.14	68.80	292.4	106,738.5
											901,637.9

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

d. Diseño de la celda diaria:

d.1. Geometría de la celda diaria.- La celda diaria corresponde al volumen diario de residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario debidamente segregados y compactados y su cobertura diaria. Para calcular las dimensiones de la celda diaria se tomaron en cuenta los siguientes criterios.

- Cantidad de residuos sólidos.
- Densidad de compactación.
- Vehículos que pueden descargar simultáneamente.
- Estabilidad de los residuos.

**Figura 50** Esquema básico de la celda diaria

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

En la siguiente tabla se presente el tamaño de la celda diaria estimada para una vida útil de 10 años.

Tabla 36 Cálculo y proyección de la celda diaria

N°	Año	residuos	residuos compactados				celda diaria			
		t/día	m³/d	altura	ancho	profund.	altura	ancho	profund.	volumen
				H	B	L	H´	B´	L´	m³
1	2015	205.80	274.40	1.20	10.00	22.87	1.35	10.15	23.03	315.38
2	2016	214.08	285.44	1.20	10.00	23.79	1.35	10,15	23.94	328.00
3	2017	222.68	296.90	1.20	10.00	24.74	1.35	10.15	24.89	341.08
4	2018	231.59	308.79	1.20	10.00	25.73	1.35	10.15	25,88	354.66
5	2019	240.84	321.12	1.20	10.00	26.76	1.35	10.15	26.91	368.73
6	2020	250.42	333.90	1.20	10.00	27.82	1.35	10.15	27.97	383,33
7	2021	260.36	347.15	1.20	10.00	28.93	1.35	10.15	29.08	398.46
8	2022	270.67	360.89	1.20	10.00	30.07	1,35	10.15	30.22	414.15
9	2023	281.36	375.14	1.20	10.00	31.26	1.35	10.15	31.41	430.42
10	2024	292.43	389.91	1.20	10.00	32.49	1.35	10.15	32.64	447.29
Total		901,638	1'202,184							1'380,246

Densidad residuos: 0,75 t/m³
 Espesor de la cobertura diaria : 0,15 m
 Relación de la cobertura Vcelda/Vrs : 1,15 m³ relleno/m³ residuos compactados
 Volumen total de relleno 10 años sin asentamiento : 1'380,246.0 m³

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

d.2. Parámetros de diseño de la celda diaria.- En el cálculo se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Producción diaria de residuos (t/día), obtenida por proyección de la GPC y población total como se explico anteriormente.
- Para estimar el volumen de residuos sólidos dentro de la celda diaria se empleo la siguiente expresión:

$$Vrs = W \times D \quad (3.4)$$

Donde:

Vrs = Volumen ocupado por los residuos compactados, m³.

W = Peso de los residuos, t .

D = Densidad de compactación de los residuos, adoptada como 0.75 t/m³.

La densidad de los residuos sólidos es de 0.75 t/m³ corresponde al valor citado por el profesor Tchobanoglous en su libro.”Gestión integral de residuos sólidos” para residuos bien compactados.

- Para determinar el ancho de la celda de residuos compactados (Ars) se tomó en cuenta el número máximo de vehículos en la hora pico (N) que puede disponer

simultáneamente de la siguiente manera:

$$Ars = 5N \quad (3.5)$$

$$Ars = (5\text{metros/vehiculo}) \times 2\text{vehiculos}$$

$$Ars = 10.0$$

- Para definir la altura (H), de la basura en la celda diaria, se estableció como criterio una relación L/H 2 a 3 con el objetivo de darle estabilidad a la celda especialmente en el momento de la compactación. la altura también tiene relación con el volumen de cobertura diaria, siendo el volumen de cobertura mayor cuando la altura es menor y por tanto afectando la vida útil del relleno.
- Operativamente se buscó que los residuos sean compactados en capas de residuos de 0.20 m de espesor, previa disgregación (romper bolsas + homogenización), hasta alcanzar la altura de diseño que es de 1.20 m.
- La longitud (Lrs) de los residuos compactados fueron estimados mediante la siguiente expresión:

$$Lrs = \frac{Volumen}{Ancho * Altura} \quad (3.6)$$

- La celda diaria corresponde a los residuos compactados mas la cobertura diaria aplicada. la cobertura diaria recomendada para diseño corresponde al mismo material extraído de la excavación, el cual no debe contener piedras de diámetro mayor a 2", el cual se colocara en un espesor de 0.15 m compactado.

e. Calculo de la vida útil.

El relleno sanitario inicialmente fue proyectado para una vida útil de 10 años; sin embargo, su vida útil real está determinada por el volumen de residuos que efectivamente puede disponerse en el relleno (geometría de del relleno) y las pérdidas sufridas por transferencia de masa por degradación, generación de gases, asentamientos y evacuación de sólidos y agua a través del lixiviado. Para estimar la vida útil se realizó una proyección de los residuos sólidos y se comparó con el volumen total del relleno obtenido en los planos de diseño.

En la siguiente tabla se presenta el volumen de relleno logrado en el terreno para las terrazas 1, 2 y 3 del predio del proyecto; observándose que el volumen total es de 1.11 millones de

m^3 que es inferior al esperado para los 10 años de 1.38 millones de m^3 .

Tabla 37 Volúmenes de las terrazas del relleno sanitario de Huamanga

Nº	Terraza	Volumen m^3
1	Terraza 1	206,940.3
2	Terraza 2	406241.3
3	Terraza 3	497,517.4
Suma:		1'110,699.0

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

e.1. Volumen total de residuos dispuestos.- El Vrs corresponde a la cantidad de residuos dispuestos dentro de la masa de residuos y ha sido estimado mediante la siguiente expresión:

$$Vrs = Vt/r \quad (3.7)$$

Donde:

Vrs : Volumen de residuos sólidos dispuestos en el relleno, m^3 .

r : Relación de cobertura, estimado en 1.15

Vt : Volumen total de relleno según la apariencia final del relleno.

Reemplazando:

$$Vrs = 1'110,699.0m^3/1.15$$

$$Vrs = 967,410.6m^3$$

e.2. Peso de los residuos dispuestos.- El peso de los residuos sólidos dispuestos al final de la vida útil del relleno, esta en función del factor de llenado, que en este caso a considerado $1.10 t/m^3$.

$$Wf = Vrs/F \quad (3.8)$$

Donde:

Wf : Peso de los residuos sólidos dispuestos al final de la vida útil del relleno, t .

Vrs : Volumen de residuos sólidos dispuestos en el relleno, m^3 .

F : Factor de ocupación del relleno en t/m^3 .

Reemplazando:

$$Wf = 967,410.6m^3 \times 1.10t/m^3$$

$$Wf = 1'064,151.6t$$

En la siguiente tabla se presenta la proyección de residuos para 14 años, estimada siguiendo la misma curva de crecimiento de los 10 primeros años. De aquí se observan los siguiente volúmenes acumulados:

Tabla 38 *Proyección de residuos para el cálculo de la vida útil*

N°	Año	residuos			volumen	
		generación residuos sólidos (t/día)	generación residuos sólidos (t/año)	residuos sólidos acumulado (t)	volumen acumulado de residuos sólidos al final de la vida útil (m ³)	volumen acumulado de residuos sólidos + material de cobertura (m ³)
1	2015	205.8	75,115.8	75,115.8	68,287.1	78,530.2
2	2016	214.1	78,140.5	153,256.3	139,323.9	160,222.5
3	2017	222.7	81,277.7	234,534.0	213,212.7	245,194.6
4	2018	231.6	84,531.5	319,065.5	290,059.5	333,568.5
5	2019	240.8	87,905.8	406,971.3	369,973.9	425,470.0
6	2020	250.4	91,404.9	498,376.2	453,069.3	521,029.7
7	2021	260.4	95,033.1	593,409.3	539,463.0	620,382.5
8	2022	270.7	98,795.0	692,204.3	629,276.6	723,668.1
9	2023	281.4	102,695.1	794,899.4	722,635.8	831,031.2
10	2024	292.4	106,738.5	901,637.9	819,670.8	942,621.4
11	2025	299.9	109,463.5	1'011,101.4	919,183.1	1'057,060.6
12	2026	309.5	112,978.5	1'124,079.9	1'021,890.8	1'175,174.4
13	2027	319.1	116,485.0	1'240,564.9	1'127,786.2	1'296,954.2
14	2028	328.8	119,995.6	1'360,560.4	1'236,873.1	1'422,404.1

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

Lo anterior indica que la vida útil para los 1,064,151.6 t de residuos sólidos dispuestos a partir de los 1'110,699.0 m³ de volumen total de relleno dispuesto; está entre los años 11 y 12 años, mediante interpolación, la vida útil del relleno con asentamientos ha sido estimada en 11.5 Años, lo cual esta dentro de lo estimado por el proyecto que es de 10 años.

f. Generación de lixiviado.

El lixiviado corresponde al exceso de agua que se produce dentro de los residuos. asociado al aporte de humedad, agua de lluvia y capacidad de almacenamiento de los mismos.

f.1. Cálculo del exceso de lixiviados.- Para estimar el volumen de este liquido se realizo un balance hídrico sobre las fosas de lixiviados, considerando las pérdidas por recirculación por aspersión y la evaporación.

$$L = Q - EVP - EVT \quad (3.9)$$

Donde:

L : Producción neta de lixiviado, m³/año.

Q : Caudal de lixiviado generado, $m^3/\text{año}$.

EVP : Perdida por evaporación en la fosa de lixiviados, $m^3/\text{año}$.

EVT : Perdida por evapotranspiración durante recirculación sobre cobertura diaria, $m^3/\text{año}$.

N	AÑO	CAUDAL LIXIVIADOS, Q			EVP	ETA	RECIRCULACIÓN			
		TOTAL L/S	M3/D	M3/AÑO	FOSA	ASPERSIÓN	BALANCE, L			
					M3/AÑO	M3/AÑO	M3/AÑO	L/S	M3/D	M3
1	2015	0.84	72.7	26,535	1,192.1	6,314.4	19,028.8	0.60	52.1	19,029
2	2016	0.79	68.32	24,938	1,192.1	8,283.5	15,462.9	0.49	42.4	34,492
3	2017	0.88	75.60	27,595	1,192.1	14,305.0	12,098.0	0.38	33.1	46,590
4	2018	0.89	77.08	28,134	1,192.1	14,631.5	12,310.3	0.39	33.7	58,900
5	2019	1.05	90.87	33,169	1,192.1	23,538.4	8,438.8	0.27	23.1	67,339
6	2020	0.97	84.12	30,702	1,192.1	24,506.2	5,003.8	0.16	13.7	72,343
7	2021	1.08	92.98	33,938	1,192.1	24,805.9	7,940.1	0.25	21.8	80,283
8	2022	1.15	99.59	36,351	1,192.1	24,805.9	10,352.9	0.33	28.4	90,636
9	2023	1.21	104.40	38,108	1,192.1	24,805.9	12,109.8	0.38	33.2	102,745
10	2024	1.26	109.18	39,852	1,192.1	24,805.9	13,854.4	0.44	38.0	116,600
11	2025	0.11	9.68	3,534	1,192.1	18,769.2	-16,427.6	-0.52	-45.0	100,172
12	2026	0.14	12.23	4,463	1,192.1	24,867.5	-21,596.8	-0.68	-59.2	78,575
13	2027	0.16	13.58	4,957	1,192.1	24,867.5	-21,102.4	-0.67	-57.8	57,473
14	2028	0.15	12.82	4,681	1,192.1	24,867.5	-21,378.8	-0.68	-58.6	36,094
15	2029	0.12	10.34	3,773	1,192.1	24,867.5	-22,287.0	-0.71	-61.1	13,807
16	2030	0.09	7.85	2,864	1,192.1	24,867.5	-23,195.4	-0.74	-63.5	-9,388
17	2031	0.07	6.02	2,196	1,192.1	24,867.5	-23,864.0	-0.76	-65.4	-33,252
18	2032	0.05	4.60	1,679	1,192.1	24,867.5	-24,380.5	-0.77	-66.8	-57,633

Figura 51 Balance hídrico sobre las fosas de lixiviado

Fuente: Obtenido de MPH. (2015)

Según la tabla anterior, se observa que la evaporación y recirculación reducen el volumen del lixiviado a manejar, sin embargo existe un exceso de lixiviado que se debe manejar.

f.2. Dimensionamiento de las fosas de lixiviado.- El caudal máximo esperado para la producción de lixiviado, fue estimado en $52.4 m^3/\text{día}$, entonces el volumen de las fosas de lixiviados fue estimado con base a la siguiente expresión:

$$V = Q * TR \quad (3.10)$$

Donde:

V : Volumen total de las fosas, m^3 .

Q : Caudal de lixiviado generado, $m^3/\text{día}$.

TR : Tiempo de retención hidráulica, días.

El tiempo de retención adoptado para diseño correspondió a 21 días, con este criterio se diseño dos fosas que tendrán un área de 11.0 m x 21.0 m (inferior) y 16.0 m x 28.0 m x 2.0 m(superior) , con un volumen útil de $1,129.3 m^3$. Las fosas contarán con una geomembrana de polietileno de alta densidad (HD) de calibre 60 Mils(1.5 mm espesor).

3.9.6.2 Diseño optimizado.

Procedimiento de cálculo:

a. Población.

a.1. tasa de crecimiento.- Es necesario conocer el numero de habitantes de diseño, para definir las cantidades de residuos sólidos que se han de disponer; Para lo cual se tendrá en cuenta la población urbana de los distritos de Ayacucho, San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno y Andres Avelino Cáceres Dorregaray. La información acerca del número de habitantes se tomó de los últimos censos oficiales realizados en el Perú según (INEI,2017).

Tabla 39 *Población urbana por distrito obtenida en los últimos censos*

Año	distrito de Ayacucho	distrito de Carmen Alto	distrito de San Juan Bautista	distrito de Jesús Nazareno	distrito de Andrés Avelino Cáceres D.
1981	53,980	4,408	11,145	-	-
1993	78,072	7,735	20,111	-	-
2005	95,180	16,090	37,083	15,251	-
2007	99,018	-	37,685	14,316	-
2017	97,200	27,644	48,979	17,590	25,031

Fuente: obtenido de (INEI,2017)

Para determinar la tasa de crecimiento poblacional se utilizó la tabla anterior. Por ello para cálculo poblacional, se determino por 4 métodos, de los cuales el método que tiene mas relación con el crecimiento poblacional es el geométrico (poblaciones en expansión). obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 40 *Tasa de crecimiento poblacional urbano por distrito.*

Distrito (población urbana)	tasa de crecimiento
distrito de Ayacucho	2.13%
distrito de Carmen Alto	5.35%
distrito de San Juan Bautista	3.45%
distrito de Jesús Nazareno	2.08%
distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray	2.13%

Fuente: Elaboración propia

a.2. Proyección de la población.- Es muy importante la estimación de la población futura que se tendrá, durante el periodo de diseño, para poder determinar la generación de residuos sólidos municipales, los cuales se dispondrán diariamente en el relleno sanitario. Se utilizó

el método matemático de la función geométrica para conocer la proyección de la población en estudio, propuesta en la guía del(MINAM,2011).

$$P_f = P_0(1 + r)^{T_f - T_0} \quad (3.11)$$

Donde:

P_f = Población final .

P_0 = Población inicial .

r = Tasa de crecimiento de la población.

T_f = Tiempo final (en años).

T_0 = Tiempo inicial (en años).

Las proyecciones obtenidas utilizando la ecuación anterior tenemos:

Tabla 41 *Proyección de la población urbana en los distritos involucrados*

Año	distrito de Ayacucho	distrito de Carmen Alto	distrito de San Juan Bautista	distrito de Jesus Nazareno	distrito de Andrés Avelino Cáceres D.	total población urbana de los distritos involucrados
0	97,200	27,644	48,979	17,590	25,031	216,444
1	99,273	29,122	50,667	17,956	25,565	222,583
2	101,391	30,678	52,414	18,330	26,110	228,923
3	103,553	32,318	54,221	18,711	26,667	235,470
4	105,762	34,045	56,089	19,101	27,236	242,233
5	108,018	35,865	58,023	19,498	27,817	249,221
6	110,322	37,782	60,023	19,904	28,410	256,441
7	112,675	39,801	62,092	20,318	29,016	263,903
8	115,079	41,929	64,232	20,741	29,635	271,616
9	117,533	44,170	66,446	21,172	30,267	279,589
10	120,040	46,531	68,737	21,613	30,913	287,834

Fuente: Elaboración propia

b. características del terreno

b.2. Capacidad de la infraestructura para tratamiento de residuos..- Como se indica en el cuadro del estudio definitivo que fue evaluado, el volumen total de la terraza habilitar es de $1'110,699.0 \text{ m}^3$.

c. Generación de residuos sólidos.

c.1. Generación de residuos sólidos domiciliarios.- Se calculara para cada distrito la generación de residuos sólidos domiciliarios, según la siguiente ecuación.

$$GRS_d = Pob_n * Gpc \quad (3.12)$$

Donde:

GRS_d = Generación de residuos sólidos domiciliarios, (kg/día).

Pob_n = Población final (hab.).

Gpc = Generación per cápita (kg./hab./día).

Los datos de generación per cápita de cada distrito, se obtuvo del estudio de caracterización de residuos sólidos - ECRS , elaborados el año 2019. Así mismo se utilizará una tasa del incremento de generación de residuos domiciliarios que sera de 0.5 a 1.0 % (Jaramillo,2002).

Tabla 42 *Generación de residuos sólidos domiciliarios por distrito del año 2019*

Descripción	Ayacucho	Carmen alto	San Juan bautista	Jesús Nazareno	Andrés Avelino Cáceres D.	Unidades	Referencias
generación per cápita - 2019	0.530	0.670	0.620	0.560	0.710	kg/hab/día	ECRS municipios 2019
tasa de crecimiento de generación domiciliaria	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	1.00%	%	Guía MINAM-2011
tasa de crecimiento de generación no domiciliaria	2.13%	5.35%	3.45%	2.08%	2.13%	%	Cálculo de la población
generación no domiciliaria - 2019	48.64	2.807	7.013	3.693	4.45	t/día	ECRS municipios 2019
humedad residuos sólidos domiciliarios (%)	68.81%	46.80%	61.86%	74.15%	74.74%	%	ECRS municipios 2019

Fuente: Estudios de caracterización de residuos sólidos municipales 2019

c.2. Generación de residuos sólidos no domiciliarios.- La generación de residuos sólidos no domiciliarios para cada distrito se obtuvo, de igual manera del estudio de caracterización de residuos sólidos - ECRS, elaborados año 2019. Así mismo el incremento de estos residuos es igual a la tasa de crecimiento poblacional de cada distrito.

Tabla 43 *Generación de residuos sólidos no domiciliarios por distrito del año 2019*

Fuente de generación residuos no domiciliarios	distrito de Ayacucho	distrito de Carmen Alto	distrito de San Juan Bautista	distrito de Jesús Nazareno	distrito de Andrés Avelino Cáceres D.
	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)
Establecimientos comerciales (bodegas, librerías , farmacias)	3.760	0.779	1.429	0.821	1.979
Hoteles (hospedaje, hostel)	0.360	0.092	0.148	0.080	0.083
Mercados	39.000	0.497	0.563	0.470	0.645
Restaurantes (restaurants, pollerías, chifa)	2.810	0.123	0.428	0.455	0.990
Instituciones públicas y privadas /estab. Salud/aeropuerto	0.494	0.198	0.131	0.076	0.038
Instituciones educativas públicas y privadas	2.220	0.547	1.215	0.393	0.261
Barrido de calles / almacenamiento	10.748	0.572	3.099	1.397	0.454
Total	48.64	2.807	7.013	3.693	4.450

Fuente: Estudios de caracterización de residuos sólidos municipales 2019

c.3. Composición de residuos sólidos municipales por distritos.- De acuerdo a los estudios de caracterización de los 05 municipios que conforman la ciudad de Ayacucho, se tiene la siguiente tabla:

Tabla 44 Composición de residuos sólidos municipales por distrito

tipo de residuo	Valor (%)					
	Ayacucho	Carmen Alto	San Juan Bautista	Jesús Nazareno	Andrés Avelino Cáceres D.	promedio distritos
A. residuos reprovechables	88.61%	88.71%	85.78%	84.23%	79.51%	85.37%
A.I. residuos orgánicos	71.83%	69.44%	71.00%	69.99%	68.02%	70.06%
residuos de alimentos	68.61%	63.98%	68.96%	68.04%	65.71%	66.59%
resduos de malezas	3.22%	5.46%	1.01%	1.83%	2.31%	3.20%
otros organicos	0.00%	0.00%	1.04%	0.12%	0.00%	0.06%
A.II. residuos reciclables	16.78%	19.27%	14.78%	14.24%	11.49%	15.31%
papel	3.15%	2.96%	2.39%	1.93%	1.76%	2.44%
cartón	2.73%	1.29%	2.06%	2.81%	1.69%	2.12%
vidrios	3.62%	2.25%	1.97%	2.15%	1.81%	2.36%
plásticos	3.33%	4.22%	4.81%	4.09%	3.66%	4.02%
tetrapack	0.30%	0.25%	0.42%	0.18%	0.26%	0.28%
metales	1.14%	2.67%	1.94%	1.93%	1.39%	1.81%
textiles (telas)	0.55%	1.71%	0.63%	0.69%	0.68%	0.85%
caucho, cuero, jebe	0.78%	1.59%	0.56%	0.46%	0.24%	0.73%
B. residuos no reaprovechables	11.39%	11.29%	14.23%	15.78%	20.49%	14.64%
bolsas plásticas	4.34%	3.29%	4.39%	4.52%	4.18%	4.14%
residuos sanitarios	4.90%	3.82%	5.43%	4.60%	6.29%	5.01%
pilas	0.09%	0.05%	0.24%	0.08%	2.00%	0.49%
Residuos Inertes	0.47%	1.73%	0.00%	2.92%	6.32%	2.29%
Otros (porcelana)	0.18%	0.67%	0.00%	2.50%	0.46%	0.76%
Tecnopor y similares	0.60%	0.50%	0.00%	0.50%	0.49%	0.42%
Envoltura, etiquetas	0.85%	1.23%	0.00%	0.66%	0.75%	0.70%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Estudios de caracterización de residuos sólidos municipales 2019

c.4. Generación de residuos sólidos municipales.- la cantidad total de residuos sólidos municipales, está conformada por la generación de residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios del distrito.

$$GRS_m = GRS_d + GRS_{nd} \quad (3.13)$$

Donde:

GRS_d = Generación de residuos sólidos domiciliarios, (t/día) .

GRS_{nd} = Generación de residuos sólidos no domiciliarios, (t/día) .

GRS_m = Generación de residuos sólidos municipales, (t/día) .

Así mismo para la presente investigación se proyectó la información requerida al año base que es el 2017, y a partir de ello poder realizar las proyecciones de diseño optimizado.

Tabla 45 *Generación de residuos sólidos por distrito al año base*

Generación / sector	Ayacucho	Carmen alto	San Juan bautista	Jesús Nazareno	Andrés Avelino Cáceres D.	Unidades	Referencias
población al año base 2017	97.200	27.644	48.979	17.590	25.031	hab.	censo INEI 2017
generación per cápita proyectada al año base	0.520	0.657	0.608	0.549	0.696	kg/hab/día	proyección
generación de residuos sólidos domiciliarios	50,50	18.16	29.77	9.66	17.42	t/día	proyección
generación de residuos sólidos no domiciliarios	56.94	2.53	6.55	3.54	4.27	t/día	proyección
generación de residuos sólidos municipales	107.44	20.69	36.32	13.20	21.69	t/día	proyección
humedad residuos sólidos municipales	65.14%	46.80%	61.86%	74.15%	74.74%	%	proyección

Fuente: Elaboración propia

c.5. Porcentaje de cobertura de recolección.- El porcentaje de cobertura de recolección (PCR) se obtuvo a partir de la información de entrevistas al personal encargado del servicio de limpieza de los municipios distritales y provincial. Así mismo se tiene referencia en el documento del Plan Integral de gestión ambiental de residuos sólidos -PIGARS -MPH.

Tabla 46 *Cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos municipales*

Municipio	año 2016 (%)	año 2019 (%)	Diferencia
M. P. Huamanga	84.00%	96.00%	12.00%
M. D. San Juan Bautista	80.00%	80.00%	0.00%
M. D. Jesús Nazareno	95.00%	95.00%	0.00%
M. D. Andrés Avelino Cáceres	90.00%	90.00%	0.00%
M. D. Carmen Alto	80.00%	80.00%	0.00%

Fuente: Entrevista a municipalidades distritales y PIGARS-MPH

c.6. Generación de residuos sólidos municipales a disponer.- Es la cantidad de residuos sólidos que se dispondrán en la infraestructura de disposición final. Para lo cual se tomará en cuenta el porcentaje de cobertura de recolección de residuos sólidos, y su respectivo porcentaje de incremento anual.

$$GRS_{md} = GRS_m * \frac{PCR}{100} \quad (3.14)$$

Donde:

GRS_{md} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer, (t/día) .

PCR = porcentaje de cobertura de recolección(%).

GRS_m = Generación de residuos sólidos municipales, (t/día) .

Estos cálculos se realizan para cada uno de los distritos involucrados en el presente estudio, obteniendo finalmente las siguientes tablas:

Tabla 47 *Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Ayacucho.*

N°	Año	Población (Hab.)	GPC domestica Ayacucho (Kg/hab/día)	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos municipales (t/día)	porcentaje del servicio de cobertura de recolección	cantidad de residuos sólidos municipales a disponer (t/día)
0	2017	97,200	0.520	50.50	56.94	107.44	0.88	94.55
1	2018	99,273	0.525	52.09	58.15	110.25	0.92	101.43
2	2019	101,391	0.530	53.74	59.39	113.13	0.96	108.60
3	2020	103,553	0.535	55.43	60.66	116.09	0.96	111.45
4	2021	105,762	0.541	57.18	61.95	119.13	0.96	114.37
5	2022	108,018	0.546	58.98	63.27	122.26	0.96	117.37
6	2023	110,322	0.552	60.84	64.62	125.47	0.96	120.45
7	2024	112,675	0.557	62.76	66.00	128.77	0.96	123.62
8	2025	115,079	0.563	64.74	67.41	132.15	0.96	126.87
9	2026	117,533	0.568	66.79	68.85	135.63	0.96	130.21
10	2027	120,040	0.574	68.89	70.32	139.21	0.96	133.64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 *Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Carmen Alto.*

N°	Año	Población (Hab.)	GPC domestica Ayacucho (Kg/hab/día)	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos municipales (t/día)	porcentaje del servicio de cobertura de recolección	cantidad de residuos sólidos municipales a disponer (t/día)
0	2017	27,644	0.657	18.16	2.53	20.69	0.80	16.55
1	2018	29,122	0.663	19.32	2.66	21.98	0.80	17.59
2	2019	30,678	0.670	20.55	2.81	23.36	0.80	18.69
3	2020	32,318	0.677	21.87	2.96	24.83	0.85	21.10
4	2021	34,045	0.683	23.27	3.12	26.38	0.90	23.75
5	2022	35,865	0.690	24.76	3.28	28.04	0.95	26.4
6	2023	37,782	0.697	26.34	3.46	29.80	0.95	28.31
7	2024	39801	0.704	28.03	3.64	31.67	0.95	30.09
8	2025	41,929	0.711	29.82	3.84	33.66	0.95	31.97
9	2026	44170	0.718	31.73	4.04	35.77	0.95	33.98
10	2027	46531	0.726	33.76	4.26	38.02	0.95	36.12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49 *Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de San Juan Bautista.*

N°	Año	Población (Hab.)	GPC domestica Ayacucho (Kg/hab/día)	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos municipales (t/día)	porcentaje del servicio de cobertura de recolección	cantidad de residuos sólidos municipales a disponer (t/día)
0	2017	48,979	0.608	29.77	6.55	36.32	0.80	29.06
1	2018	50,667	0.614	31.10	6.78	37.88	0.80	30.31
2	2019	52,414	0.620	32.50	7.01	39.51	0.80	31.61
3	2020	54,221	0.626	33.95	7.25	41.21	0.85	35.03
4	2021	56,089	0.632	35.47	7.50	42.98	0.90	38.68
5	2022	58,023	0.639	37.06	7.76	44.83	0.95	42.59
6	2023	60,023	0.645	38.73	8.03	46.76	0.95	44.42
7	2024	62,092	0.652	40.46	8.31	48.77	0.95	46.33
8	2025	64,232	0.658	42.27	8.59	50.87	0.95	48.32
9	2026	66,446	0.665	44.17	8.89	53.06	0.95	50.41
10	2027	68,737	0.671	46.15	9.20	55.34	0.95	52.58

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50 *Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Jesús Nazareno.*

N°	Año	Población (Hab.)	GPC domestica Ayacucho (Kg/hab/día)	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos municipales (t/día)	porcentaje del servicio de cobertura de recolección	cantidad de residuos sólidos municipales a disponer (t/día)
0	2017	17,590	0.549	9.66	3.54	13.20	0.95	12.54
1	2018	17,956	0.554	9.96	3.62	13.57	0.95	12.89
2	2019	18,330	0.560	10.26	3.69	13.96	0.95	13.26
3	2020	18,711	0.566	10.58	3.77	14.35	0.95	13.64
4	2021	19,101	0.571	10.91	3.85	14.76	0.95	14.02
5	2022	19,498	0.577	11.25	3.93	15.18	0.95	14.42
6	2023	19,904	0.583	11.60	4.01	15.61	0.95	14.83
7	2024	20,318	0.589	11.96	4.09	16.05	0.95	15.25
8	2025	20,741	0.594	12.33	4.18	16.51	0.95	15.68
9	2026	21,172	0.600	12.71	4.27	16.98	0.95	16.13
10	2027	21,613	0.606	13.11	4.35	17.46	0.95	16.59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51 *Cálculo de la generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray*

N°	Año	Población (Hab.)	GPC domestica Ayacucho (Kg/hab/día)	generación de residuos sólidos domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos no domiciliarios (t/día)	generación de residuos sólidos municipales (t/día)	porcentaje del servicio de cobertura de recolección	cantidad de residuos sólidos municipales a disponer (t/día)
0	2017	25,031	0.696	17.42	4.27	21.69	0,90	19.52
1	2018	25,565	0.703	17.97	4.36	22.33	0,90	20.10
2	2019	26,110	0.710	18.54	4.45	22.99	0,90	20.69
3	2020	26,667	0.717	19.12	4.54	23.67	0,93	21,89
4	2021	27,236	0.724	19.73	4.64	24.37	0,95	23.15
5	2022	27,817	0.732	20.35	4.74	25.09	0,95	23.83
6	2023	28,410	0.739	20.99	4.84	25.83	0,95	24.54
7	2024	29,016	0.746	21.65	4.95	26.60	0,95	25,27
8	2025	29,635	0.754	22.34	5.05	27.39	0,95	26.02
9	2026	30,267	0.761	23.04	5.16	28.20	0,95	26.79
10	2027	30,913	0.769	23.77	5.27	29.04	0,95	27.58

Fuente: Elaboración propia

c.7. Generación total de residuos sólidos municipales a disponer.- Es la cantidad total de residuos sólidos municipales, resultante de los 5 distritos de la ciudad de Ayacucho, este resultado es considerando sin recuperación ninguno de residuos sólidos aprovechables.

$$GTRS_{md} = GRS_{md1} + GRS_{md2} + GRS_{md3} + GRS_{md4} + GRS_{md5} \quad (3.15)$$

Donde:

$GTRS_{md}$ = Generación total de residuos sólidos municipales a disponer, (t/día) .

GRS_{md1} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Ayacucho, (t/día) .

GRS_{md2} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de San Juan Bautista, (t/día) .

GRS_{md3} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Carmen Alto, (t/día) .

GRS_{md4} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Jesús Nazareno, (t/día) .

GRS_{md5} = Generación de residuos sólidos municipales a disponer del distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, (t/día) .

Tabla 52 *Generación total de residuos sólidos municipales a disponer.*

N°	Año	Generación total de residuos sólidos municipales a disponer por distrito					Generación total de residuos sólidos municipales (t/día)
		distrito de Ayacucho (t/día)	distrito de Carmen Alto (t/día)	distrito de San Juan Bautista (t/día)	distrito de Jesús Nazareno (t/día)	distrito de Andrés Avelino Cáceres D. (t/día)	
0	2017	94.55	16.55	29.06	12.54	19.52	172.21
1	2018	101.43	17.59	30.31	12.89	20.10	182.31
2	2019	108.60	18.69	31.61	13.26	20.69	192.85
3	2020	111.45	21.10	35.03	13.64	21.89	203.10
4	2021	114.37	23.75	38.68	14.02	23.15	213.97
5	2022	117.37	26.64	42.59	14.42	23.83	224.85
6	2023	120.45	28.31	44.42	14.83	24.54	232.55
7	2024	123.62	30.09	46.33	15.25	25.27	240.55
8	2025	126.87	31.97	48.32	15.68	26.02	248.87
9	2026	130.21	33.98	50.41	16.13	26.79	257.51
10	2027	133.64	36.12	52.58	16.59	27.58	266.51

Fuente: Elaboración propia

c.8. Generación total de residuos sólidos municipales a disponer con aprovechamiento real.

c.8.1. Cantidad de residuos sólidos orgánicos aprovechables.- Con respecto a la recuperación de los residuos sólidos orgánicos aprovechables compostificables, se tiene información del registro de recuperación por parte del programa de segregación.

c.8.2. Cantidad de residuos sólidos inorgánicos aprovechables.- La cantidad de residuos sólidos inorgánicos aprovechables recuperables, se obtuvieron a partir de la entrevista realizada a la principal empresa recicladora de residuos sólidos, que recupera de toda la ciudad de Ayacucho, que se tiene para el año 2019 un promedio de 5.72 t/día. Entonces la cantidad de residuos sólidos que se dispondrán en la infraestructura de disposición final. Para lo cual se tomara en cuenta la cantidad de residuos inorgánicos y orgánicos aprovechables, y su respectivo incremento anual.

$$GTRS_{mda} = GTRS_{md} - CR_{ia} - CR_{oa} \quad (3.16)$$

Donde:

$GTRS_{mda}$ = Generación total de residuos sólidos municipales a disponer con aprovechamiento real, (t/día).

$GTRS_{md}$ = Generación total de residuos sólidos municipales a disponer, (t/día).

CR_{ia} = Cantidad de residuos inorgánicos aprovechables, (t/día).

CR_{oa} = Cantidad de residuos orgánicos aprovechables, (t/día).

Tabla 53 *Generación de residuos sólidos municipales a disponer con aprovechamiento real al 3.5%*

N°	Año	generación total	recuperación de residuos sólidos orgánicos aprovechables por el programa municipal					cantidad de aprovechables	cantidad de aprovechables	recuperación total	generación total
		residuos sólidos municipales	distrito de Ayacucho	distrito de Carmen Alto	distrito de San Juan Bautista	distrito de Jesús Nazareno	distrito de Andrés Avelino Cáceres D.	programa municipal	empresa comercializadora	residuos aprovechables	residuos sólidos municipales a disponer
		(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)	(t/día)
0	2017	172.21	0.275	0.130	0.053	0.416	0.107	0.98	5.39	6.37	165.84
1	2018	182.31	0.280	0.137	0.055	0.424	0.109	1.01	5.55	6.55	175.75
2	2019	192.85	0.286	0.144	0.057	0.430	0.11	1.03	5.72	6.75	186.10
3	2020	203.10	0.292	0.152	0.059	0.442	0.114	1.06	5.89	6.95	196.16
4	2021	213.97	0.299	0.160	0.061	0.451	0.116	1.09	6.06	7.15	206.82
5	2022	224.85	0.305	0.168	0.063	0.461	0.119	1.12	6.24	7.36	217.49
6	2023	232.55	0.312	0.177	0.065	0.470	0.122	1.15	6.43	7.58	224.97
7	2024	240.55	0.318	0.187	0.067	0.480	0.124	1.18	6.62	7.80	232.75
8	2025	248.87	0.325	0.197	0.069	0.490	0.127	1.21	6.82	8.03	240.84
9	2026	257.51	0.332	0.207	0.072	0.500	0.129	1.24	7.03	8.27	249.25
10	2027	266.51	0.339	0.218	0.074	0.511	0.132	1.27	7.24	8.51	257.99

Fuente: Elaboración propia

c.9. Generación total anual de residuos sólidos municipales a disponer. Se tiene la siguiente expresión:

$$GTARS_{md} = GRS_{mda} * 365 \quad (3.17)$$

Donde:

$GTARS_{md}$ = Generación total Anual de residuos sólidos municipales a disponer, (t/año).

GRS_{md} = Generación total de residuos sólidos municipales a disponer, (t/día).

c.10. Volumen de residuos sólidos compactados.

$$VRSC = \frac{GTARS_{md}}{DRS_C} \quad (3.18)$$

Donde:

$VRSC$ = Volumen de residuos sólidos compactados, (m^3 /año).

$GTARS_{md}$ = Generación total Anual de residuos sólidos municipales a disponer, (t/año).

DRS_C = Densidad de residuos sólidos compactados, (t/m^3).

c.11. Volumen de residuos sólidos estabilizados.

$$VRSE = \frac{GTARS_{md}}{DRS_E} \quad (3.19)$$

Donde:

$VRSE$ = Volumen de residuos sólidos estabilizados, (m^3 /año).

$GTARS_{md}$ = Generación total Anual de residuos sólidos municipales a disponer, (t/año).

DRS_E = Densidad de residuos sólidos estabilizados, (t/m^3).

c.12. Material de cobertura.- El material de cobertura, el cual proviene de la excavación de la terraza para la infraestructura de disposición final, el cual se acumulo a manera de relleno bajo la configuración de un dique ambiental, este volumen dependerá del área superficial de residuos sólidos compactados que serán cubiertos.

$$MC = 35.15\% \times VRSC \quad (3.20)$$

Donde:

MC = Material de cobertura, ($m^3/\text{año}$) .

$VRSC$ = Volumen de residuos sólidos compactados, ($m^3/\text{año}$) .

c.13. Volumen de disposición final.

$$V = VRSE + MC \quad (3.21)$$

Donde:

V = Volumen de disposición final, ($m^3/\text{año}$) .

$VRSE$ = Volumen de residuos sólidos estabilizados, ($m^3/\text{año}$) .

MC = Material de cobertura, ($m^3/\text{año}$) .

Tabla 54 *Cálculo de volumen de disposición final.*

N°	Año	Generación de residuos sólidos			Volumen de residuos sólidos				
		generación total de residuos sólidos municipales a disponer	generación total anual de residuos solidos municipales a disponer	acumulado	compactados	estabilizados	relleno sanitario		
							material de cobertura	volumen de disposición final	acumulado
		(t/día)	(t/año)	(t)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)
0	2017	165.84	60,532.80	60,532.8	85,723.27	77,238.58	30,166.02	107,404.60	0.00
1	2018	175.75	64,149.98	64,150.0	90,845.72	81,854.02	31,968.61	113,822.63	113822.63
2	2019	186.10	67,927.39	132,077.4	96,195.09	86,673.92	33,851.05	120,524.97	234,347.60
3	2020	196.16	71,597.93	203,675.3	101,393.11	91,357.46	35,680.24	127,037.69	361,385.29
4	2021	206.82	75,487.89	279,163.2	106,901.86	96,320.96	37,618.77	133,939.73	495,325.02
5	2022	217.49	79,382.16	358,545.4	112,416.71	101,289.97	39,559.44	140,849.41	636,174.43
6	2023	224.97	82.113,72	440,659.1	116,284.99	104,775.37	40,920.69	145,696.06	781,870.49
7	2024	232.75	84.953,05	525,612.1	120,305.90	108,398.30	42,335.65	150,733.95	932,604.44
8	2025	240.84	87,905.00	613,517.1	124,486.30	112,164.93	43,806.73	155,971.66	1'088,576.10
9	2026	249.25	90.974,67	704,491.8	128,833.40	116,081.77	45,336.47	161,418.24	1'249,994.34
10	2027	257.99	94,167.40	798,659.2	133,354.76	120,155.61	46,927.54	167,083.15	1'417,077.49
días del año:				365	días	Total (m³)			1'417,077.49
densidad compactada:				0.706	t/m³				
densidad estabilizada:				0.784	t/m³				
material de cobertura:				35.19%					

Fuente: Elaboración propia

d. Vida útil.

Para determinar la vida útil, se tiene que identificar el volumen de infraestructura según el estudio definitivo, pues considera la capacidad de la zanja excavada, que en este caso es de 1110699 m^3 .

Para esta evaluación se aplicará varios casos, y proponer así optimizaciones de funcionamiento adecuado que involucren la recuperación de residuos sólidos inorgánicos y orgánicos aprovechables, como se detalla a continuación:

- Cálculo de vida útil sin recuperación de residuos sólidos aprovechables al 0%, .
- Cálculo de vida útil con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 3.5%, .
- Cálculo de vida útil con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 15.31%, .
- Cálculo de vida útil con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 85.37%, .

El Cálculo de cada uno de los casos se presentan en el anexo D. de memorias de calculo.

Tabla 55 *Resumen de volumen acumulado de disposición final distintos casos*

	Diseño evaluado	Diseño optimizado			
casos	caso 0	caso 1	caso 2	caso 3	caso 4
sin/con recuperación %	sin recuperación 0,00%	sin recuperación 0,00%	con recuperación 3,50%	con recuperación 15,31%	con recuperación 85,37%
(inorg.+org.)	(inorg.+org.)	(inorg.+org.)	(inorg.+org.)	(inorg.)	(inorg.+org.)
Años	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)
1	78,530.2	118,067.80	113822.63	99,991.6	17,273.32
2	160,222.5	242,962.63	234347.60	205,765.1	35,545.43
3	245,194.6	374,498.63	361385.29	317,162.9	54,789.15
4	333,568.5	513,068.99	495325.02	434,518.1	75,061.99
5	425,470.0	658,685.32	636,174.43	557,840.6	96,365.66
6	521,029.7	809,288.72	781,870.49	685,386.6	118,398.94
7	620,382.5	965,074.67	932,604.44	817,321.7	141,190.42
8	723668.1	1126,247.36	1088,576.10	953,818.9	164,769.99
9	831,031.2	1293,020.17	1249,994.34	1'095,058.8	189,168.85
10	942,621.4	1'465,616.09	1'417,077.49	1'241,230.3	214,419.63
11	1'057,060.6				
12	1'175,162.9				

Fuente: Elaboración propia

El cálculo de la vida útil se define comparando el volumen total disponible del terreno con los años correspondiente al valor del acumulado de la suma de los volúmenes de disposición final hasta encontrar un valor similar o ligeramente mayor. Este cálculo se realiza mediante una regla de tres simple.

Para la presente investigación que se centra en el caso 2, donde actualmente se viene realizando la recuperación de residuos sólidos aprovechables, pero en una mínima cantidad, que el material segregado es solo el 3.5% y el restante de residuos sólidos municipales 96.5% se va a disposición final, entonces la vida útil real de la infraestructura proyectada según el estudio evaluado, sería como sigue:

Tabla 56 *Volumen acumulado de disposición final*

Año	volumen necesario relleno sanitario acumulado (m³/año)
1	113,822.63
2	234,347.60
3	361,385.29
4	495,325.02
5	636,17.,43
6	781,870.49
7	932,604.44
8	1'088,576.10
9	1'249,994.34
10	1'417,077.49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57 *Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con aprovechamiento actual*

Años	Volumen acumuado (m³/año)
8,00	1'088,576.10
8,14	1'110,699.00
9,00	1'249,994.34

Fuente: Elaboración propia

Entonces; X = 8.14 años. Entonces sería 8.0 Años, 01 mes, 20 días. Esto se dará con la condición actual real de 3.5% de recuperación de residuos sólidos aprovechables.

Ahora para el caso específico de la infraestructura existente que es la terraza N°03, se tiene el siguiente resultado:

Tabla 58 *Cálculo de la vida útil de terraza N°03 con aprovechamiento actual*

Años	Volumen acumulado (m³/año)
2,00	234,347.60
2,85	341,807.07
3,00	361,385.29

Fuente: Elaboración propia

Entonces; $X = 2.85$ años. Entonces sería 2 años, 10 meses, 6 días. Esto se dará igualmente con la condición actual real de 3.5% de recuperación de residuos sólidos aprovechables.

La vida útil de toda la infraestructura del relleno sanitario y específicamente la terraza N°03, en los demás casos, sin y con recuperación de residuos sólidos aprovechables, el resumen del cálculo de vida útil de volumen de disposición final para todos los casos analizados.

Tabla 59 *Cálculo de la vida útil de volumen de disposición final evaluado y optimizado.*

		Vida útil - infraestructura relleno sanitario		Vida útil - infraestructura Terraza N°03	
Diseño evaluado		años	meses-días	años	meses-días
Caso 0	: 0,0% inorg.+org.)	11,45	11 años, 05 meses, 12 días	4,09	4 años, 1 mes, 2 días
Diseño Optimizado:					
Caso 1	: 0,0% (inorg.+org.)	7,90	07 años, 10 meses, 24 días	2,75	2 años, 9 mes, 0 días
Caso 2	: 3,50% (inorg.+org.)	8,14	08 años, 01 mes, 20 días	2,85	2 años, 10 mes, 6 días
Caso 3	: 15,31% (inorg. + 0% org.)	9,11	09 años, 01 mes, 09 días	3,21	3 años, 2 mes, 16 días
Caso 4	: 85,37% (inorg.+org.)	45,50	45 años, 06 meses, 00 días	15,04	15 años, 0 mes, 14 días

Fuente: Elaboración propia

e. Diseño de la celda diaria.

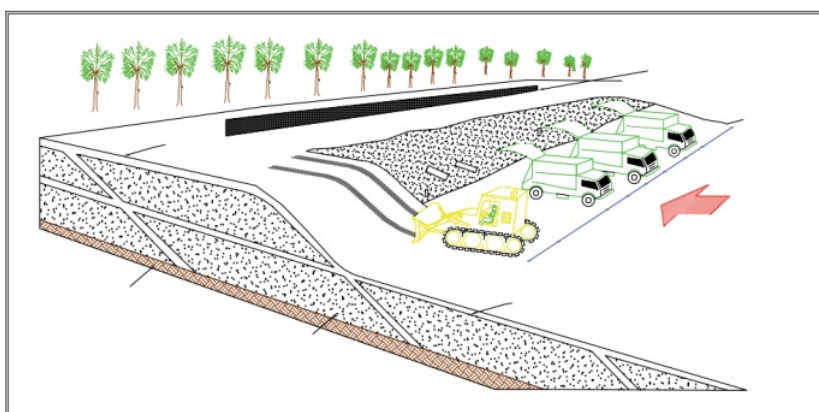
Se llama celda a la conformación geométrica que se le da a los residuos sólidos y al material de cubierta (tierra), debidamente compactada mediante equipo mecánico.

Los elementos de una celda son: altura, largo, ancho del frente de trabajo, pendiente de los taludes laterales y espesores del material de cubierta diario y del último nivel de celdas.

El ancho mínimo de las celdas o mínimo frente de trabajo, dependerá de la longitud de la cuchilla y del equipo que se emplee en la construcción de las celdas. Para lo cual se definen los siguientes parámetros para el cálculo:

Tabla 60 *Parámetros para cálculo de celda diaria*

Nro. máximo de vehículos que llegan al mismo tiempo (n)	: 2.0
Distancia entre vehículos (D.V.)	: 2 m
Ancho del vehículo (A.V.)	: 2.5 m
Ancho de maquinaria de compactación (A.M. C.)	: 3.0 m
Talud de avance de celda (z)	: 1/3
Altura de celda (h)	: 1,2 m
Densidad de residuos sólidos compactado (D)	: 0.706 t/m ³

**Figura 52** Cálculo de frente de trabajo.

Fuente: Obtenido de ANA (2015)

e.1. Cálculo de la longitud de frente de trabajo.- Definido los parámetros anteriores calculamos la longitud del frente de trabajo, entonces tenemos la siguiente ecuación:

$$LFT = AMC + AV * n + DV * (n - 1) + 10 \quad (3.22)$$

Reemplazando tenemos:

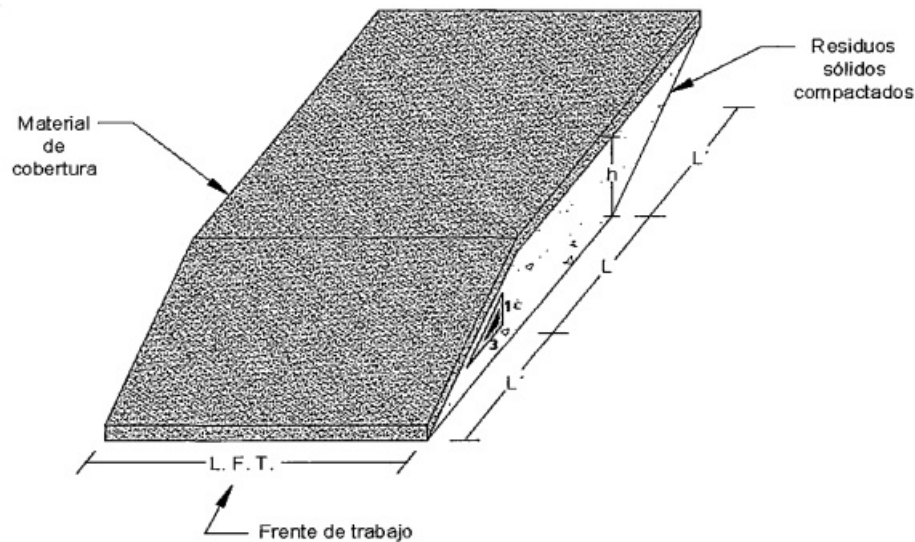
$$L.F.T. = 2 + 2.5 \times 1 + 2 * (1 - 1) + 10 = 5.5 + 10 = 20.0m.$$

Para la correcta operación de confinamiento de residuos sólidos municipales se debe conformar un frente de trabajo mínimo de 20 m.

e.2. Cálculo del avance diario.- Con la altura de celda ($h=1.2$ m) y el talud de avance de celda ($z=1/3$), se calcula la longitud del talud (L').

$$L' = \frac{h}{Z} \quad (3.23)$$

Entonces $L' = 3.6$ m.

**Figura 53** Cálculo del avance diario.

Fuente: Obtenido de Guillén y Angel (2011)

Para determinar la longitud de avance de trabajo se utilizara a partir de la ecuación del volumen de celda diaria, así despejando L' se obtiene la siguiente fórmula:

$$V = h * L * LFT + h * L' * LFT \quad (3.24)$$

$$V = 24L + 72$$

$$L = (V - 72) / 24$$

$$L = 7.98m$$

Entonces como la generación de residuos sólidos es variable para cada año y manteniendo constante las dimensiones de: longitud de frente de trabajo, altura y longitud de rampa, podemos o tener la longitud de avance de celda anual del año 2019.

Tabla 61 Cálculo de la longitud de avance de trabajo.

N°	Año	generación total de residuos sólidos municipales a disponer	volumen total de residuos sólidos municipales a disponer	Longitud de frente de trabajo "L.F.T."	Altura "h"	Longitud de rampa "L'"	Longitud de avance de trabajo "L"
		(t/día)	(m ³ /día)	(m)	(m)	(m)	(m)
0	2017	165.84	234.86	20.00	1.20	3.60	6.79
1	2018	175.75	248.89	20.00	1.20	3.60	7.37
2	2019	186.10	263.55	20.00	1.20	3.60	7.98
3	2020	196.16	277.79	20.00	1.20	3.60	8.57
4	2021	206.82	292.88	20.00	1.20	3.60	9.20
5	2022	217.49	307.99	20.00	1.20	3.60	9.83
6	2023	224.97	318.59	20.00	1.20	3.60	10.27
7	2024	232.75	329.61	20.00	1.20	3.60	10.73
8	2025	240.84	341.06	20.00	1.20	3.60	11.21
9	2026	249.25	352.97	20.00	1.20	3.60	11.71
10	2027	257.99	365.36	20.00	1.20	3.60	12.22

Fuente: Elaboración propia

f. Generación de lixiviado.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la esorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno. Debido a las diferentes condiciones de operación y localización de cada relleno, las tasas esperadas pueden variar; de ahí que deban ser calculadas para cada caso en particular.

Entonces para la estimación de la generación de lixiviados se cuenta con dos métodos, ampliamente aceptado para establecer un rango suficientemente confiable respecto al volumen de lixiviados a manejar, que se presentan a continuación:

f.1. Caudal en función de la precipitación máxima mensual.

Método Suizo.- Sobre la base de las observaciones realizadas en varios rellenos pequeños, se puede afirmar que la generación de lixiviado se presenta fundamentalmente durante los periodos de lluvias y unos cuantos días después, y se interrumpe durante los periodos secos. Por tal razón, sería conveniente una adaptación de este método de cálculo para calcular la generación del lixiviado en función de la precipitación de los meses de lluvias y no de todo el año.

$$Q_m = P_{max} * A * K \quad (3.25)$$

Donde: Q_m = Caudal medio de lixiviado generado (m^3/mes).

P_{max} = Precipitación media anual (mm/mes).

A = Área superficial del relleno (m^2).

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son los siguientes:

- Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0.4 a 0.7 t/m^3 , se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% ($K = 0.25$ a 0.50) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
- Para rellenos fuertemente compactados con peso específico $> 0.7 t/m^3$, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% ($K = 0.15$ a 0.25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Tabla 62 Precipitación mensual estación Tambillo.

Descripción	precipitación media mensual			
	2013	2014	2015	2016
Enero	149.30	136.29	139.82	119.55
Febrero	123.20	151.77	155.70	133.13
Marzo	94.30	120.92	124.05	106.07
Abril	21.30	47.91	49.15	42.02
Mayo	22.90	13.75	14.11	12.06
Junio	6.65	6.64	6.81	5.2
Julio	11.76	11.73	12.04	10.29
Agosto	12.25	12.22	12.54	10.72
Setiembre	26.98	26.92	27.61	23.61
Octubre	48.04	47.92	49.16	42.04
Noviembre	66.20	66.04	67.75	57.93
Diciembre	112.08	111.81	114.71	98.08
pp media anual	694.97	753.92	773.43	661.33

Fuente: Estación meteorológica Tambillo

Tenemos según la ubicación y características del terreno:

$$P_{max} = 155.70 \text{ mm/mes.}$$

$$A = 26,595.0 \text{ m}^2.$$

$$K = 0.25$$

Entonces reemplazando obtenemos:

$$Q_m = 1,035.20 \text{ m}^3/\text{mes}$$

f.2. Caudal en función del contenido de humedad de los residuos sólidos.

Método el cuadro de generación en base a la precipitación y forma de operación.-

Este método utiliza el cuadro de producción de aguas lixiviadas, en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica DED – Deutscher Entwicklungs Dienst. para lo cual utilizaremos la siguiente tabla.

Tabla 63 Producción de lixiviados por tipo de relleno

Tipo de relleno	% de la precipitación para la producción de lixiviados	producción de lixiviados (m ³ /ha.día)		
		precipitación 700 mm/año	precipitación 1500 mm/año	precipitación 3000 mm/año
Relleno manual	60	11.51	24.66	49.32
Relleno compactado con maquina liviana	40	7.67	16.44	32.88
Rellno compactado con maquina pesada	25	4.79	10.27	20.55

Fuente: Obtenido de MINAM (2008)

- Por porcentaje de precipitación**Tabla 64** Caudal generado de lixiviados de precipitación

pp media anual mm/año	superficie (ha)	producción de lixiviados (%)	Caudal (m ³ /año)	Caudal (m ³ /mes)
773.43	2.66	25.00	5,142.34	428.53

Fuente: Elaboración propia

- Por factor de generación**Tabla 65** Caudal generado de lixiviados por factor de generación

pp media anual mm/año	superficie (ha)	producción de lixiviados (m3/ha.día)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (m ³ /mes)
773.43	2.66	5.29	14.08	422.26

Fuente: Elaboración propia

Método Suizo.- El método Suizo también permite estimar el caudal del lixiviado mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} [P_{max} * A * K] \quad (3.26)$$

Donde: Q = Caudal medio de lixiviado generado (l/seg).

P =Precipitación media anual (mm/ao).

A =Área superficial del relleno (m²).

t =Numero de segundos en un año (seg/año).

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura.

Tenemos entonces:

$P_{max} = 773.43$ mm/año.

$A = 26,595.0$ m².

$K = 0.25$

$t = 31,536.00$ seg/año.

Entonces reemplazando obtenemos:

$$Q = 0.1631 \text{ l/seg}$$

Tabla 66 Método Suizo

pp media anual mm/año	superficie (m ²)	Coeficiente k	t (seg/año)	Caudal (l/s)	Caudal (m ³ /día)	Caudal (m ³ /mes)
773.43	26,595.00	0.25	31*536,000	0.1631	14.09	422.66

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro diseño, utilizaremos el promedio de valores obtenidos de caudal:

Tabla 67 Promedio de caudal generado de lixiviados.

Descripción	Caudal(m^3/mes)
Por porcentaje de precipitación	428.53
Por factor de generación	422.26
Metodo suizo	422.66
Promedio	424.48

Fuente: Elaboración propia

f.2.1. Generación de lixiviados debido a la humedad de los residuos sólidos.

Primeramente tomamos el dato de cantidad de residuos sólidos que serán depositados en los próximos 5 años en el relleno sanitario. Luego se consideran una serie de supuestos obtenidos por experiencias en rellenos sanitarios y revisión bibliográfica, los cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 68 parámetros de compactación y humedad según ensayos en campo

Descripción	valores	und.
Densidad compactada (0 años)	0.706	kg/m^3
Densidad estabilizada (1 año)	0.784	kg/m^3
Densidad estabilizada (5 año)	0.800	kg/m^3
Humedad residuos sólidos (0 años)	66.43	%
Humedad inicial residuos sólidos (1 año)	54.51	%

Fuente: Elaboración propia

En el área de relleno se produce una diferencia del porcentaje de humedad, lo que corresponde al líquido liberado producto de la capacidad de compactación que experimentan los residuos, de los cuales el 40% de ellos son percolados, mientras que el otro 60% se recupera en el esponjamiento de los residuos y es utilizado en su degradación. Con este criterio, se espera que en cinco años de compactación se llegue a una densidad de $0.800 t/m^3$, y a una humedad de 20%. Con la aplicación del siguiente cuadro se determina el volumen de lixiviado que se generara por la humedad de los residuos.

Tabla 69 Cálculo de la generación de lixiviado por la humedad propia de los residuos sólidos.

	periodo de descomposición en 5 años	cantidad t/año	densidad de los residuos sólidos	volumen de los residuos sólidos	% humedad inicial HI	% humedad final HF	diferencia de humedades es $H=(HI-HF)$	Volumen de líquido liberado por los residuos $VL=(V*H)$	Volumen que percola como lixiviado $VLP=VL*40\%$
residuos para el año 1	1	64,149.98	0.784	50,275.11	0.66	0.55	0.12	5,992.79	2,397.12
	2	64,149.98	0.789	50,595.86	0.55	0.43	0.12	6,071.50	2,428.60
	3	64,149.98	0.794	50,916.61	0.43	0.33	0.10	5,091.66	2,036.66
	4	64,149.98	0.799	51,237.36	0.33	0.23	0.10	5,123.74	2,049.49
	5	64,149.98	0.800	51,301.51	0.23	0.20	0.03	1,539.05	615.62

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los residuos sólidos que se depositen en el relleno sanitario en el primer año de vida generaran una cantidad de lixiviado al concluir dicho periodo, después el segundo año y así sucesivamente hasta que el quinto año su generación será mínima, con este concepto básico y práctico se puede desarrollar la siguiente tabla que establece la generación de lixiviado de acuerdo a los años de funcionamiento del relleno sanitario.

Tabla 70 *Generación de lixiviado por año.*

Generación de lixiviados (m^3/año)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Lixiviados de los residuos del año 1	2,397.12	2,428.60	2,036.66	2,049.49	615.62
Lixiviados de los residuos del año 2		2,538.27	2,571.61	2,156.59	2,170.18
Lixiviados de los residuos del año 3			2,675.43	2,710.57	2,273.13
Lixiviados de los residuos del año 4				2,820.79	2,857.83
Lixiviados de los residuos del año 5					2,966.30
Sumatoria de lixiviados	2,397.12	4,966.87	7,283.70	9,737.44	10,883.06

Fuente: Elaboración propia

La suma de la generación de lixiviados por la precipitación pluvial y la generación por descomposición y humedad de los residuos nos da un valor tentativo para realizar los cálculos para el dimensionamiento de los sistemas de recolección, almacenaje y tratamiento de dichos lixiviados.

Tenemos así:

promedio de lixiviados en 5 años: $7053.64 m^3/\text{año}$

promedio de lixiviados en 5 años: $587,80 m^3/\text{mes}$

caudal para tratamiento: $587,80 m^3/\text{mes} + 424.48 m^3/\text{mes}$

caudal para tratamiento: $1,012.28 m^3/\text{mes}$

De acuerdo a ambos métodos de generación de lixiviados tenemos:

Tabla 71 *Resumen de modelación de generación de lixiviados*

Descripción	(m^3/mes)
Caudal en función de la precipitación máxima mensual.	1,035.2
Caudal en función del contenido de humedad de los residuos sólidos.	1,012.28
promedio	1023,74

Fuente: Elaboración propia

f.3. Volumen de poza de lixiviados

Los tanques de retención están diseñados para almacenar el lixiviado durante el pico de producción máxima. Considerando el caudal anterior y asumiendo que se necesitara una poza. El volumen de lixiviado se estima con la siguiente ecuación:

$$V = Q_m * t \quad (3.27)$$

Dónde:

V : Volumen de lixiviado por almacenar (m^3)

Q_m : Caudal medio de lixiviado (m^3/mes)

t : N° máximo de meses con lluvias consecutivas (*meses*)

Tenemos:

$$Q_{max} = 1,023.74 \text{ } m^3/mes.$$

$t = 2$ meses.(en promedio los meses de febrero y marzo son los de mayor precipitación).

Reemplazando en la ecuación anterior obtenemos:

$$V = 1,023.74m^3/mes \times 2meses$$

$$V = 2,047.48m^3$$

Entonces con este volumen ahora podremos determinamos la cantidad de pozas; según el espacio y volumen a almacenar.

f.4. Tratamiento de aguas lixiviadas

El tratamiento que actualmente se desarrolla es por laguna de evaporación, esta es una de las alternativas más sencillas para el manejo de lixiviado. En esta alternativa, el lixiviado se almacena en un estanque o laguna de evaporación. (donde el estanque se revestiría adecuadamente con geomembrana impermeable). La tasa de evaporación, desde luego, depende las condiciones climáticas. En caso que hubiera una época de lluvias intensas, el estanque debe estar diseñado para retener el volumen asociado de líquido o, si la práctica lo permite, puede estar cubierto con una membrana impermeable.

La tasa de evaporación puede aumentarse al rociar el lixiviado sobre la superficie del relleno sanitario en funcionamiento y sobre las áreas terminadas. Aunque el rociado aumenta la tasa de evaporación, el proceso puede generar olores, así como aerosoles que pueden contener bacterias.

Capítulo IV

Resultados

Los resultados de esta investigación comprueban las hipótesis propuesta. Se propone interpretar y analizar los resultados de la investigación de donde saldrán los elementos para plantear las conclusiones.

4.1 Contrastación de la hipótesis

4.1.1 Hipótesis general

La optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinará el tiempo de vida útil real y plantear un funcionamiento adecuado del relleno sanitario de Huamanga.

Planteamiento de hipótesis:

Para la contrastación de hipótesis se tomará en cuenta el volumen de disposición final anual según diseños, el evaluado a partir de la tabla N°35 y el optimizado de la tabla N°51.

Tabla 72 *Volumen de disposición final anual de residuos*

Años	Diseño Optimizado	Diseño Evaluado
	Volumen anual de disposición final (m ³)	Volumen anual de disposición final (m ³)
1	113,596.8	78,530.2
2	120,285.9	81,692.3
3	126,785.7	84,972.1
4	133,674.0	88,373.8
5	140,570.0	91,901.5
6	14,5407.0	95,559.7
7	150,434.9	99,352.8
8	155,662.2	103,285.7
9	161,098.0	107,363.1
10	166,751.7	111,590.3
11	172,040.5	114,439.1
12	177,547.7	118,113.8

Fuente: Elaboración propia

Se plantean la siguientes Hipótesis para el análisis:

Hipótesis alternativa(H1): existe diferencia significativa al realizar la optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinando el tiempo de vida útil real del Relleno Sanitario de Huamanga.

Hipótesis nula(Ho): no existe diferencia significativa al realizar la optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinando el tiempo de vida útil real del Relleno Sanitario de Huamanga.

Consideraciones:

- se tiene variables cuantitativas.
- se requiere comparar las medias de dos muestras.

Alcances:

- Uso de la prueba T student para la contrastación.
- nivel de confianza del 95%.
- un 5% de significancia.
- se posee un grado de libertad de 12.
- si el valor de $p \leq$ nivel de significancia, se acepta la hipótesis alternativa.
- si el valor de $p >$ nivel de significancia, se rechaza la hipótesis alternativa.

Con los alcances, se tiene el siguiente cuadro de resultados tras la evaluación del cuadro de la tabla anterior:

Tabla 73 Prueba de T student

Valores	Variable 1	Variable 2
Media	146,987.86	97,931.20
Varianza	4.27E+08	1.75E+08
Observaciones	12.00	12.00
Coefficiente de correlación de Pearson	0.99645	
Diferencia hipotética de las medias	0.00	
Grados de libertad	11.00	
Estadístico t	22.50	
P(T<=t) una cola	0.00000	
Valor crítico de t (una cola)	1.79588	
P(T<=t) dos colas	0.00000	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20099	

Fuente: Elaboración propia

Resultados:

- $P(T \leq t)$ dos colas=0.00 es menor al nivel de significancia 0.05, se acepta la hipótesis alternativa.

-H1: existe diferencia significativa al realizar la optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinando el tiempo de vida útil real del relleno sanitario de Huamanga.

Se acepta la hipótesis alternativa (H1), es decir al optimizar el diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, se determina el tiempo de vida útil real del relleno sanitario de Huamanga.

Entonces al existir correlación entre el volumen de disposición final y La vida útil del relleno sanitario al considerar la capacidad de la infraestructura proyectada del relleno sanitario de $1110699,0 \text{ m}^3$, entonces tenemos:

Tabla 74 *Tiempo de vida útil para volumen de disposición final*

Años	Diseño Optimizado	Diseño Evaluado
	Volumen acumulado de disposición final (m^3)	Volumen acumulado de disposición final (m^3)
1	113,822.6	78,530.2
2	234,347.6	160,222.5
3	361,385.3	245,194.6
4	495,325.0	333,568.5
5	636,174.4	425,470.0
6	781,870.5	521,029.7
7	932,604.4	620,382.5
8	1'088,576.1	723,668.1
9	1'249,994.3	831,031.2
10	1'417,077.5	942,621.4
11	1'589,118.0	1'057,060.6
12	1'766,665.7	1'175,162.9
vida util real (años)	8.14	11.50

Se determino que la vida útil del relleno sanitario en su totalidad es de 8.15 años, y de la terraza N°03 es de 2.85 años.

4.2 Análisis e Interpretación.

4.2.1 Sobre el diagnostico del servicio de manejo y tratamiento de los residuos sólidos municipales.

4.2.1.1 Servicio de manejo de residuos sólidos municipales.

La presente investigación en lo referente a la generación de residuos sólidos municipales, se obtuvo información del año 2019, de los estudios de caracterización de cada uno de los 05 Municipios Distritales que conforman la ciudad de Ayacucho, y que vienen disponiendo sus residuos sólidos municipales en le relleno sanitario de Huamanga.

Así mismo se obtuvo la información a partir de entrevistas realizadas sobre la situación actual de la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos a través de las distintas ruta de recojo (% cobertura). Así como también la recuperación de residuos sólidos inorgánicos y orgánicos aprovechables, a los encargados del programa municipal de Segregación de cada unos de los Municipios Distritos, que son destinados al reciclaje y la producción de abonos orgánicos(compost y humus), en sus respectivas plantas de valorización municipal y finalmente se obtuvo información de la cantidad y el precio de comercialización actual de estos residuos aprovechables de la empresa mayorista acopiadora en nuestra ciudad de Ayacucho. Así se pudo obtener la cantidad total actual de residuos sólidos que son reaprovechadas por cada uno de los Municipales Distritales, siendo esta en un (3.50%) del total de residuos sólidos municipales generados, del cual la diferencia serán destinadas para sus disposición final al relleno sanitario de Huamanga (96.50 %), cuando de acuerdo al análisis de la composición de residuos sólidos municipales.

Tabla 75 *Recuperación y disposición final actual de residuos sólidos municipales*

Detalles	situación actual		situación ideal	
	t/día	%	t/día	%
Generación total de residuos sólidos municipales	192.85	100%	192.85	100%
Recuperación de residuos sólidos aprovechables	6.75	3.50%	164.64	85.37%
Residuos sólidos inorgánicos aprovechables	5.72	2.96%	29.53	15.31%
Residuos sólidos orgánicos aprovechables	1.03	0.54%	135.11	70.06%
Cantidad residuos sólidos municipales a disponer	186.10	96.50%	28.214	14.64%
Exceso de residuos sólidos dispuestos	157.88	659.61%		

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Infraestructura de tratamiento de residuos sólidos municipales.

En cuanto al servicio de disposición final, específicamente en las instalaciones del relleno sanitario de Huamanga, se pudo determinar la cantidad total de residuos sólidos que se ingreso hasta el mes de octubre del 2019, a partir de los datos históricos registrados. Así mismo las características técnicas necesarias para nuestra investigación, como es las dimensiones de la terraza construida y el volumen de disposición final acumulado, a través del uso de equipos topográficos, lo cual nos permitió diagnosticar el avance actual de uso que se tiene en función al tiempo que viene funcionando dicha infraestructura. Estos datos de peso y volumen serán considerados como punto de control para corroborar nuestra optimización de diseño de infraestructura.

Tabla 76 *Valores de peso y volumen de disposición final actual en el relleno sanitario de Huamanga*

tiempo de operación (años)	peso total de residuos sólidos dispuestos (t)	volumen total de disposición final acumulado (m^3)
1.05	63,728.506	112,667.93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77 *Volumen actual en uso de la terraza N°03*

detalles	valor	%
volumen total replanteado (m^3)	334,726.14	100.00%
volumen acumulado con relleno (m^3)	112,667.93	33.66%
volumen disponible por rellenar (m^3)	222,058.21	66.34%

Fuente: Elaboración propia

Del replanteo con equipo topográfico de las dimensiones de la infraestructura, específicamente de la terraza N°03, se obtuvo que el uso es de 33.66%, quedando solo un aproximado del 2/3 de la capacidad de almacenamiento, el cual se obtendrá el tiempo de vida real, mediante las estimación de diseño de infraestructura, con parámetros reales de confinamiento que se obtuvieron en los siguientes objetivos.

4.2.2 Sobre recolección de datos en campo y laboratorio.

4.2.2.1 Ensayos de densidad compactada.

De acuerdo al análisis de los resultados de este ensayo en campo, dentro del total de días de evaluación, se obtuvo el valor promedio de la densidad compactada de residuos en celda diaria, según la siguiente tabla:

Tabla 78 *Densidad compactada de residuos en celda diaria*

Nº	Peso cubierto (t)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)
1	219.7	1.200	356.700	0.616
2	167.2	1.300	219.619	0.761
3	159.6	1.200	219.600	0.727
4	163.5	1.100	238.219	0.686
5	167.5	0.950	232.750	0.720
6	259.6	1.151	338.754	0.766
7	161.4	1.091	310.935	0.519
8	183.1	1.120	226.800	0.807
9	155.1	1.230	249.075	0.623
10	175.1	1.325	267.650	0.654
11	154.8	1.318	268.582	0.576
12	233.7	1.137	313.414	0.746
13	231.9	1.125	322.706	0.719
14	166.9	1.135	244.025	0,684
15	148.6	1.162	226.590	0.656
16	164.8	1.173	210,694	0,782
17	150.5	1.185	211.688	0.711
18	234.7	1.362	332.328	0.706
19	232.8	1.435	295.036	0.789
20	180.5	1.432	237.497	0.760
21	148.0	.,360	217.301	0.681
22	151.5	1.295	210.852	0.719
23	156.0	1.225	204.355	0.763
24	212.1	1.262	322.315	0.658
25	240.9	1.250	340.800	0.707
26	179.7	1.320	225.123	0.798
27	145.7	1.160	199.265	0.731
Promedio	183.1	1.219	260.840	0.706

Fuente: Elaboración propia

Primeramente se hizo la prueba de normalidad de kolmogorow- Smirnov de las valores obtenidos, resultando una distribución normal, con un $p\text{-valor}=0.200>0.05$; es así que no existe diferencia significativa entre la distribución de los valores, y por lo cual no se descarta ninguna.

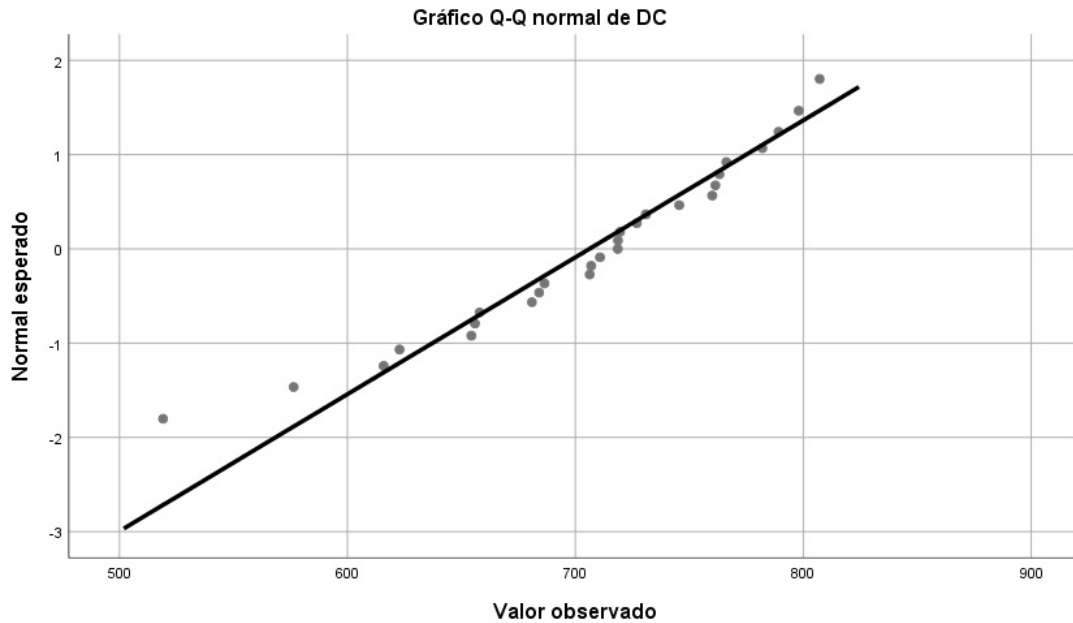


Figura 54 Distribución normal de valores obtenidos de densidad compactada

Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose así que el promedio de la densidad compactada es de 0.706 t/m^3 . Así mismo se logró obtener mas datos como son: la cantidad de peso compactado por día es de 183.1 t ; la altura de capa total es de 1.219 m y el volumen de residuos compactados es 260.84 m^3 .

4.2.2.2 Ensayos de material de cobertura.

De acuerdo al análisis de los resultados de este ensayo en campo, dentro del total de días de evaluación, se obtuvo el valor promedio del material de cobertura en celda diaria, según el siguiente cuadro:

Tabla 79 *Material de cobertura en celda diaria*

Nº	volumen de residuos confinados (m ³)	volumen de material cobertura (m ³)	altura de material cobertura (m)	Volumen de disposición final (m ³)	V-MC/ V-DF %
1	356.7	114	0.39	470.70	31.96%
2	219.6	90	0.402	309.62	40.98%
3	219.6	90	0.371	309.60	40.98%
4	238.2	84	0.355	322.22	35.26%
5	232.8	78	0.309	310.75	33.51%
6	338.8	108	0.411	446.75	31.88%
7	310.9	108	0.325	418.94	34.73%
8	226.8	96	0.387	322.80	42.33%
9	249.1	84	0.377	333.08	33.72%
10	267.7	96	0.409	363.65	35.87%
11	268.6	72	0.381	340.58	26.81%
12	313.4	108	0.401	421.41	34.46%
13	322.7	102	0.359	424.71	31.61%
14	244.0	90	0.436	334.03	36.88%
15	226.6	78	0.355	304.59	34.42%
16	210.7	78	0.386	288.69	37.02%
17	211.7	72	0.371	283.69	34.01%
18	332.3	108	0.366	440.33	32.50%
19	295.0	102	0.415	397.04	34.57%
20	237.5	90	0.4	327.50	37.90%
21	217.3	84	0.381	301.30	38.66%
22	210.9	78	0.373	288.85	36.99%
23	204.4	78	0.396	282.35	38.17%
24	322.3	102	0.365	424.31	31.65%
25	340.8	102	0.324	442.80	29.93%
26	225.1	84	0.37	309.12	37.31%
27	199.3	72	0.391	271.26	36.13%
promedio			0.378	351.506	35.19%

Fuente: Elaboración propia

De igual manera antes de tomar el valor medio, se hizo la prueba de normalidad de kolmogorow- Smirnov de las valores obtenidos, resultando una distribución normal, con un $p\text{-valor}=0.200>0.05$; es así que no existe diferencia significativa entre la distribución de los valores, y por lo cual no se descarta ninguna.

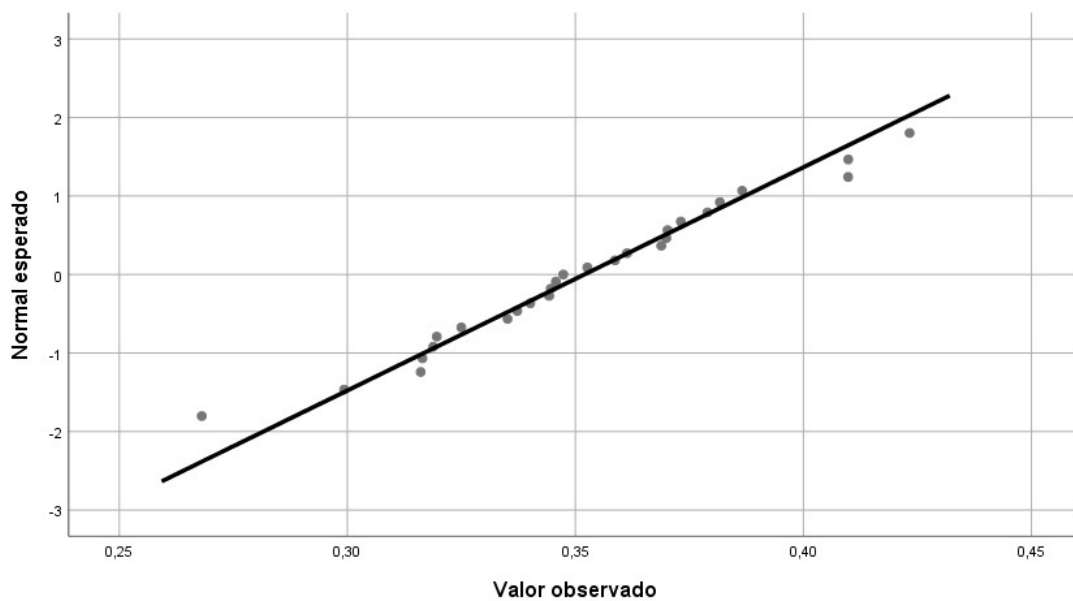


Figura 55 Distribución normal de valores obtenidos de material de cobertura

Fuente: Elaboración propia

Obteniéndose así que el promedio del material de cobertura es de 35.19%. Así mismo se logró obtener mas datos como son: la altura de capa de cobertura es de 0.378 m y el volumen de disposición final, que incluye residuos compactados mas material de cobertura es 351.506 m^3 .

4.2.2.3 Ensayos de densidad estabilizada.

El análisis de los resultados de este ensayo en campo, nos muestra un valor de densidad estabilizada de residuos casi uniformes en los datos obtenidos, a partir de este ensayo que fueron diferenciados por 06 meses y 12 meses de confinamiento de los mismos, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 80 Densidad estabilizada de residuos

Numero de ensayo	características	Profundidad hoyo (m)	Diametro hoyo (m)	Peso material extraído (kg)	Volumen de agua (m^3)	Densidad de material (kg/m^3)
1	edad 06 meses	0.485	1.52	220.18	0.286	768.87
2	edad 06 meses	0.455	1.35	245.12	0.304	807.05
3	edad 06 meses	0.524	1.42	225.52	0.295	764.36
4	edad 12 meses	0.502	1.42	240.45	0.312	769.69
5	edad 12 meses	0.465	1.48	211.55	0.260	812.61
6	edad 12 meses	0.556	1.45	250.34	0.321	779.69
	promedio	0.50	1.44			783.71

Fuente: Elaboración propia

Aquí también antes de tomar el valor medio, se hizo la prueba de rangos de los valores obtenidos en ambas muestras de 06 y 12 meses, resultando una distribución normal, con un $p\text{-valor}=0.109>0.05$; es así que no existe diferencia significativa entre los rangos de las medias de ambos valores, y por lo cual no se descarta ninguna para los cálculos.

obteniéndose así que el promedio de densidad compactada es de 783.71kg/m^3 . Así mismo se contrasto que dentro del procedimiento del ensayo las dimensiones obtenidas del hoyo, estén dentro de las especificaciones que recomiendan en el ensayo.

4.2.2.4 Ensayo de humedad.

El análisis de los resultados de este ensayo en laboratorio, nos muestra un valor de Humedad de residuos, no muy diferenciados, a partir de muestras separadas por edades de 06 meses y 12 meses en disposición final, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 81 *Humedad de las muestras de residuos*

Número de ensayo	características	Humedad en base húmeda (%H)
1	edad 06 meses	63.39
2	edad 06 meses	60.67
3	edad 06 meses	61.64
	promedio	61.90
4	edad 12 meses	56.08
5	edad 12 meses	55.05
6	edad 12 meses	52.41
	promedio	54.51

Fuente: Elaboración propia

obteniéndose así que el promedio de Humedad de residuos sólidos estabilizados de edad 12 meses (1 año) es de 54.51%.

4.2.3 Sobre la evaluación y optimización del diseño de infraestructura de tratamiento de residuos sólidos.

4.2.3.1 Generación de residuos.

En el diseño evaluado, a partir del estudio (MPH., 2015), considera la población de la ciudad de Ayacucho según los censos hasta el año 2007, sin embargo en nuestro diseño optimizado consideramos el crecimiento poblacional hasta el último censo del año 2017. Esto influye

en la obtención de una proyección de población mas acorde a la realidad, dando una mayor representatividad en la hora del cálculo de la generación de residuos sólidos domiciliarios, así mismo consideramos al nuevo distrito de Andrés Avelino Cáceres, que fue creada el año 2013.

Tabla 82 *Valores de proyección de población en análisis*

Año	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado
	Proyección de la población urbana de los distritos involucrados (Hab.)	Proyección de la población urbana de los distritos involucrados (Hab.)
1	222,583	218,672
2	228,923	225,841
3	235,470	233,202
4	242,233	240,761
5	249,221	248,521
6	256,441	256,488
7	263,903	264,666
8	271,616	273,061
9	279,589	281,677
10	287,834	290,520
Total	2'754,257	2'745,102

Fuente: Elaboración propia

Podemos notar que el total de proyección de población proyectada, en ambos casos no difiere, teniendo un valor de $p=0.293$; es así que no se tiene diferencia significativa en el cálculo de población, pues en el caso del diseño evaluado se utiliza una tasa general de crecimiento de 3.12% y en nuestro caso optimizado usamos un valor mas centrado en el crecimiento geométrico, que resulta 2.99%.

En cuanto a generación per cápita de la ciudad de Ayacucho en el diseño evaluado considera la que concentra mayor población en este caso la población del distrito de Ayacucho. Para nuestro diseño optimizado tomamos en cuenta la generación per cápita actualizada domiciliaria y no domiciliaria, por cada uno de los 5 municipios distritales que conforman la ciudad de Ayacucho.

Aquí si podemos notar que en la generación per cápita, en ambos casos si difiere, teniendo un valor de distribución normal de $p=0.049 < 0.05$; es así que se tiene diferencia significativa en el uso de esta variable de generación de residuos, pues en el caso del diseño evaluado se utiliza una tasa general GPC de 0.697 kg/hab/día y en nuestro caso optimizado usamos un valor diferente por cada Municipio Distrital.

Tabla 83 *Valores de generación per cápita en análisis*

Diseño Evaluado				Diseño Optimizado				
GPC domestica (kg/hab/día)				GPC domestica (kg/hab/día)				
Ayacucho	Carmen alto	San Juan Bautista	Jesús Nazareno	Ayacucho	Carmen alto	San Juan Bautista	Jesús Nazareno	Andrés Avelino Cáceres D.
0.697	0.697	0.697	0.697	0.520	0.657	0.608	0.549	0.696

Fuente: Elaboración propia

Finalmente en el estimación de la generación per cápita de residuos sólidos municipales, difieren ambos caso, con un $p=0.00$, vale decir que si existe diferencia significativa en la proyección total de peso de residuos sólidos municipales a obtener durante el horizonte de los 10 años de vida útil del relleno sanitario. Siendo este valor un factor determinante para que la generación por habitante incremente.

Tabla 84 *Valores de generación de residuos en análisis*

Año	Diseño Evaluado		Diseño Optimizado	
	RSM (t/año)	RSM acumulado (t/año)	RSM (t/año)	RSM acumulado (t/año)
1	75,123.10	75,123.10	64,149.98	64,149.98
2	78,148.53	153,271.64	67,927.39	132,077.37
3	81,286.59	234,558.23	71,597.93	203,675.30
4	84,541.20	319,099.43	75,487.89	279,163.20
5	87,916.42	407,015.86	79,382.16	358,545.36
6	91,416.45	498,432.31	82,113.72	440,659.08
7	95,045.65	593,477.96	8,4953.05	525,612.13
8	98,808.54	692,286.49	87,905.00	613,517.13
9	102,709.79	794,996.28	90,974.67	704,491.80
10	106,754.26	901,750.54	94,167.40	798,659.20

Fuente: Elaboración propia

La generación total de residuos sólidos municipales en el periodo de diseño de 10 años, para el diseño evaluado es de un peso acumulado de 901,750.54 ton, así mismo en nuestra estimación obtenemos un valor de 798,659.20 ton ; el cual con un valor $p=0.005<0.05$; existe significancia, esto se debe que en la proyección utilizamos valores mas cercanos a la generación per capita de residuos por habitante y el estado actual de recuperación de residuos sólidos aprovechables con un valor de 6.75 ton/día el cual representa un 3.5% del total de residuos sólidos generados en la ciudad de Ayacucho.

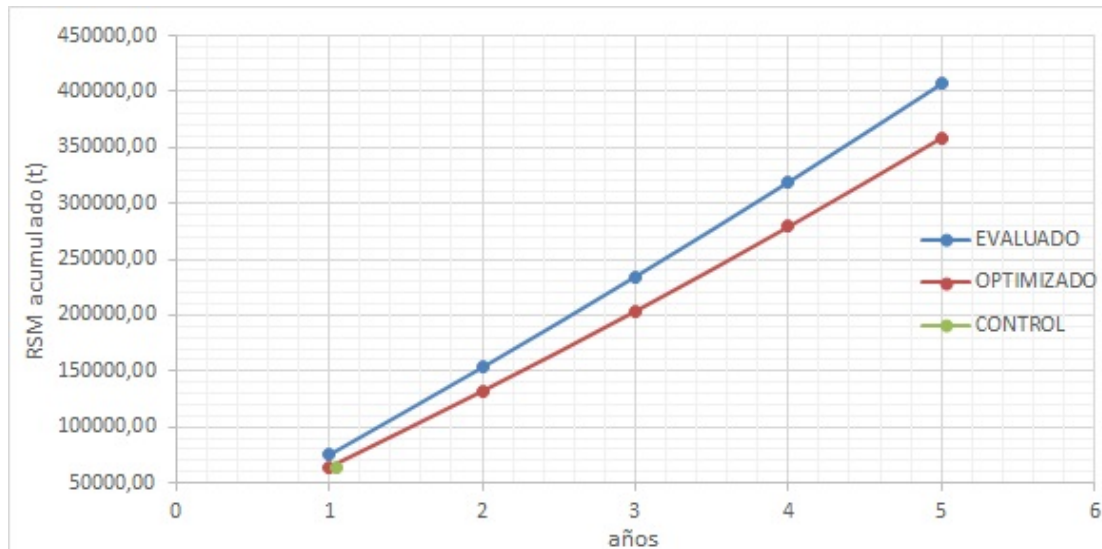


Figura 56 Comportamiento del punto de control en las estimaciones analizadas de peso total de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

Así mismo podemos observar que el punto de control, el cual fue levantado el 31 de octubre del año 2019, donde se obtuvo un peso total de residuos sólidos dispuestos de 63,728.506 ton tiene la tendencia en la curva del diseño optimizado.

Generación de residuos según vida útil.

Se tiene que:

8 años $\Rightarrow$ 613,517.13 t

8.14 años $\Rightarrow$ x

9 años $\Rightarrow$ 704,494.80 t

x = 626,235.58 t

También:

2 años $\Rightarrow$ 132,077.37 t

2.85 años $\Rightarrow$ y

3 años $\Rightarrow$ 203,675.30 t

y = 192,325.61 t

Entonces se determina que durante el tiempo de vida útil de la infraestructura de 8.14 años proyectada se tendrá un peso total acumulado de 626,235.58 t y para la terraza construida de 2.85 años e vida útil un peso total de 192,325.61 t.

4.2.3.2 Confinamiento de residuos.

De acuerdo al estudio evaluado, se tiene que los parámetros de diseño utilizados como densidad y cobertura, obedecen a lo citado por la literatura, pero de otro contexto real, sin considerar las características del material y las condiciones de operación del trabajo de confinamiento o disposición final de residuos sólidos, como es la estabilidad geotécnica del relleno, entendiéndose que a mayor altura de celda, se obtendrá menor compactación en el interior; así mismo el espesor de cobertura diaria es fundamental en este tipo de trabajos de relleno tipo mixto a una altura proyectada de 20.0 m, pues se debe conformar las celdas diarias a manera de terraplenes.

A. Densidad compactada de residuos

Tenemos la siguiente tabla:

Tabla 85 *Valores de densidad compactada de residuos en análisis*

Parámetro	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado
Densidad compactada de residuos (t/m^3):	0.750	0.706

Fuente: Elaboración propia

El valor utilizado en el diseño evaluado de $0.750 t/m^3$, obedece a un estado demasiado alentador, que si bien es cierto se debería lograr, pero las condiciones bajo la cual se determinó según los ensayos en campo, arrojan un valor real de $0.706 t/m^3$, este valor está en función de varios factores como son tipo de operación de la maquinaria compactadora y composición en humedad de los residuos sólidos, puesto que en nuestra ciudad los residuos poseen una composición de 60% de humedad, esto por que los residuos orgánicos conforman el 70.4% de la composición de los residuos sólidos municipales a disponer. Este valor se considera representativo para los cálculos, ya que se encuentra enmarcado en el rango de valores según (MINAM, 2018).

B. Densidad estabilizada de residuos.

Tenemos la siguiente tabla:

El valor utilizado en el diseño evaluado de $1.10 t/m^3$, refiere a la cantidad de residuos dispuestos y el volumen ocupado al final de la vida útil del relleno sanitario. Para nuestro caso se ha determinado ensayos bajo dos tipos de muestras que son de 06 y 12 meses de edad

Tabla 86 *Valores de densidad estabilizada de residuos en análisis*

parametro	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado
Densidad estabilizada de residuos (t/m^3):	1.100	0.784

Fuente: Elaboración propia

respectivamente, no encontrando diferencia significativa entre estos dos últimos, entonces obtenemos un valor real de $0.784 t/m^3$, el cual se considera representativo para los cálculos, ya que se encuentra enmarcado en el rango de valores según (MINAM, 2018).

C. Material de cobertura.

Tenemos la siguiente tabla:

Tabla 87 *Valores de material de cobertura en análisis*

parametro	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado
Material de cobertura: (%)	15,00%	35,19%

Fuente: Elaboración propia

El valor utilizado en el diseño evaluado de 15 %, refiere a la cantidad de material de cobertura a utilizar en función del volumen de disposición final diario. Para nuestro caso se ha determinado según ensayos el valor de 35.19%, encontrando así un valor ligeramente alto de la cobertura en las celdas diarias, esto se debe principalmente a la operación, que tiene entre sus operaciones, asegurar el acceso seguro de los vehículos compactadores cargados de residuos, hasta las trincheras de descarga; sin problemas de hundimiento y/o asentamiento.

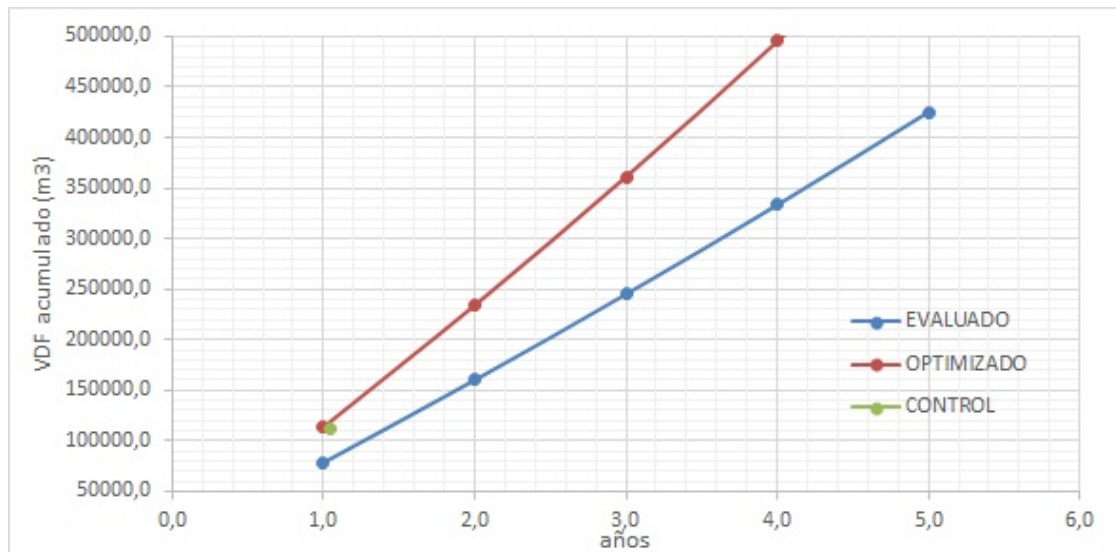
D. Capacidad de almacenamiento.

Los valores obtenidos en la generación de residuos sólidos municipales y los parámetros reales de confinamiento en campo son utilizados para poder estimar el volumen de disposición final, y así obtener el tiempo de vida de la infraestructura. El valor obtenido para el horizonte del proyecto en el diseño evaluado es de $942,621.4 m^3$; así mismo nuestra estimación nos genera un valor de $1'417,077.49 m^3$. el cual con un valor $p\text{-valor}=0.005<0.05$; existe diferencia significativa entre las medias, esto se debe que en la estimación optimizada utilizamos parámetros reales de confinamiento.

Tabla 88 Valores de volumen de disposición final en análisis

Años	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado
	Volumen de disposición final (m^3)	Volumen de disposición final (m^3)
1	78,530.2	113,822.63
2	160,222.5	234,347.60
3	245,194.6	361,385.29
4	333,568.5	495,325.02
5	425,470.0	636,174.43
6	521,029.7	781,870.49
7	620,382.5	932,604.44
8	723,668.1	1'088,576.10
9	831,031.2	1'249,994.34
10	942,621.4	1'417,077.49
11	1'057,060.6	1'589,118.01
12	1'175,174.4	1'766,665.67

Fuente: Elaboración propia

**Figura 57** Comportamiento del punto de control en las estimaciones analizadas del volumen de disposición final

Fuente: Elaboración propia

Así mismo podemos observar que el punto de control, el cual fue levantado el 31 de octubre del año 2019, donde se obtuvo un volumen total de disposición final acumulado de $112,667.93m^3$ tiene la tendencia en la curva del diseño optimizado.

4.2.3.3 Generación de lixiviados.

Según los resultados obtenidos del análisis del diseño del tratamiento de lixiviados producidos en la trinchera de disposición final, se obtiene que según las condiciones existentes, por lo cual tenemos los siguientes resultados.

Tabla 89 *Generación y tratamiento de lixiviados producidos*

Descripción	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado	
	todo el relleno	todo el relleno	Terraza N°03
Precipitación a considerar (m^3/mes)	1,572	1,023.74	624.24
Tiempo maximo de lluvias consecutivas	21 días	2 meses	2 meses
Volumen total de lixiviado (m^3)	1,129.3	2,047.48	1,248.48
Numero de pozas de lixiviado	1	2.65	2
Infraestructura existente (m^3) poza 1	685.5		
Infraestructura nueva (m^3) poza 2	450.0		

Fuente: Elaboración propia

Según el diseño original evaluado, la poza existente tiene una capacidad útil de $685.50 m^3$, entonces tomando esta referencia, ya que nuestro volumen útil optimizado resulta $2,047.48 m^3$, el cual estaría cubierto por 2.65 veces la poza del estudio evaluado. Por lo cual se debe considerar construir dos pozas más, de las mismas dimensiones, para evitar problemas de rebose, donde los meses de máxima precipitación que se viene para este año 2020.

Entonces del cuadro anterior, de acuerdo a la estimación de generación de lixiviados realizada por ambos métodos de diseño utilizados, el numero de pozas con las mismas dimensiones de la actual construida, serian minimamente 02 para la actual terraza en uso, pero existe solo 01 poza, la cual no abastecería el almacenamiento temporal de los lixiviados generados en un tiempo de máxima precipitación, que se dan en nuestras condiciones climatológicas.

Ademas en nuestro diseño estimado la precipitación máxima mensual a considerar es la de la Estación Tambillo, que se encuentra 8.8 km del relleno sanitario, a diferencia del diseño evaluado que usa la Estación Quinoa, que se encuentra a 15.3 km de distancia, ello influye en el dimensionamiento de la poza de lixiviados.

4.2.3.4 Diseño de infraestructura.

El volumen de disposición final obtenida en la evaluación y optimización de diseño, nos muestra claramente que la variación de estimación de volúmenes en el tiempo de vida útil proyectado, esta dado por los indicadores de diseño utilizados, como son cantidad de generación de residuos y parámetros de confinamiento como son densidad compactada, estabilizada y material de cobertura. Por lo cual tenemos el siguiente cuadro:

Tabla 90 *Volumen ocupado y disponible en análisis*

Descripción	Diseño Evaluado	Diseño Optimizado	Diferencia
tiempo de vida útil toda la infraestructura (años)	11.45	8.14	3.32
tiempo de vida útil Terraza N°03 (años)	4.09	2.85	1.24

Fuente: Elaboración propia

Podemos deducir de la tabla anterior, que el diseño evaluado proyectado preveé un tiempo de vida útil de 11.5 años, el cual a partir de nuestro diseño estimado resulta solo 8.14 años; Así mismo la actual terraza N°03 proyectada para un tiempo de vida útil de 4.09 años, resulta solo tener de acuerdo al diseño con parámetros reales de campo, solo 2.85 años en total a partir del inicio de sus operaciones.

Del mismo modo, es importante conocer el tiempo de vida útil restante de la actual infraestructura existente, que es la terraza N°03.

Tabla 91 *Tiempo de vida útil de la terraza N°03 en análisis*

Descripción	Actual	Total	restante
Volumen de disposición final (m^3)	119,949.31	341,807.07	221,857.76
Porcentaje de uso (%)	35.09%	100.00%	64.91%
tiempo de vida útil (años)	1.05	2.85	1.80
Detalle de tiempo de vida útil (a, m,d)	1 año	2 años	1 año
	0 meses	10 meses	09 meses
	18 días	06 días	18 días

Fuente: Elaboración propia

El presente análisis se ha realizado hasta el 31 de octubre del año 2019, entonces según el cuadro anterior a partir de la fecha de acuerdo al resultado de nuestra estimación, se tiene un tiempo aproximado de vida útil restante de la terraza N°03 de 01 año, 09 meses, es decir la presente infraestructura prestara servicios hasta fines de julio del 2021. A partir de esta fecha ya se deberá tener habilitado la siguiente terraza de disposición final, para no tener problemas de contaminación por acumulación y exposición al medio ambiente de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Ayacucho.

Capítulo V

Conclusiones

5.1 Conclusiones

1. La optimización del diseño de la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga; logro determinar un tiempo de vida útil real 8.14 años para toda la infraestructura proyectada y un tiempo de 2.85 años para la terraza N°03, y como hasta octubre del año 2019 ya han transcurrido 1.05 años, quedando solo 1.80 años (21 meses) para llegar al máximo de capacidad de almacenamiento de disposición final. Así mismo se plantea una longitud de mínima de frente de trabajo de 20.0 m de conformación de celda diaria para un funcionamiento adecuado del relleno sanitario de Huamanga.
2. El diagnostico del diseño y el sistema de tratamiento actual de los residuos sólidos permitió conocer las características de la infraestructura existente que es la terraza N°03 que se encuentran en un 33.55% de avance de uso de su capacidad instalada. Se tiene también una recuperación actual de residuos aprovechables en 3.5% del total de residuos sólidos municipales que se generan en la ciudad de Ayacucho, por lo cual se tendría un peso acumulado de 626,253.58 t de residuos a disponer durante el horizonte de vida útil estimado de todo la infraestructura y 192,935.61 t de residuos a disponer en la terraza actual.
3. para el mejoramiento del diseño de la capacidad de almacenamiento de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos, se obtuvo parámetros reales de campo, como son la densidad compactada de 0.706 kg/m^3 , densidad estabilizada de 0.783 kg/m^3 y material de cobertura 35.15%. Estos parámetros optimizaran el diseño de la infraestructura.

4. El manejo y tratamiento de los lixiviados producidos, se realiza en una poza de 685.5 m^3 , el cual resulta ser muy limitado, ya que de acuerdo al recalcu, se obtuvo un volumen de lixiviado para el 1er año de 1,248.48 m^3 que es casi el doble de lo que se viene tratando actualmente; razón por lo cual este sistema viene trayendo problemas de acumulación excesiva en la poza, y obstrucción de las tuberías de desfogue y recirculación.

5.2 Recomendaciones

1. prever un estudio de ampliación de mas terrazas, para el tratamiento de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga. pues según los resultados de la evaluación, con las mismas condiciones de manejo actual, la terraza N°03 tiene un tiempo de vida útil solo de 1.8 años más. Para un adecuado diseño de infraestructura por estimación de parámetros y valores descritos en este trabajo de investigación, dependerá también del factor de operación y mantenimiento del proceso de confinamiento. Por ello es necesario controlar que estos parámetros siempre estén dentro de lo recomendado por la normativa vigente y controlado por la entidad ejecutora.
2. Realizar el Fortalecimiento del Programa Municipal de Recolección Selectiva de residuos sólidos aprovechables de cada uno de los municipales distritales que conforman la ciudad de Ayacucho, ya que es aquí donde a través de sus acciones como son educación ambiental a los beneficiarios y la recolección de estos residuos a traves de sus respectivas rutas de recojo. Esto trae consigo un impacto directo en el relleno sanitario, ya que si en la ciudad de Ayacucho se deja de reciclar disminuirá la vida útil de esta infraestructura. Por ello se debe impulsar la organización de recicladores, para que aumente la cantidad de residuos sólidos aprovechables. Así mismo incorporar plantas de valorización de residuos y compostaje para residuos sólidos aprovechables en cada uno de los distritos metropolitanos.
3. Realizar una evaluación de la eficiencia de los tratamientos de los residuos sólidos, para reducir el uso excesivo del material de cobertura y así mismo el sistema de disposición final.
4. Para determinar el volumen de lixiviados que se genera en el relleno sanitario considerar para otros estudios otros sistemas de tratamiento como son biológico y químico para poder reaprovechar las aguas residuales.

5.3 Trabajos futuros

1. Evaluación de la estabilidad en la conformación de taludes con residuos sólidos en el relleno sanitario, en la etapa de cierre, para predecir el comportamiento del relleno conformado.
2. Estudio de aprovechamiento de los gases generados como fuente de energía combustible, para reducir la emisión con la quema al medio ambiente.
3. Estudio de los factores de compactación y estimación del óptimo, para reducir los costos de operación en maquinaria y combustible.
4. Determinar alternativas de tratamientos físicos y mecánicos del lixiviados generado, puesto que el único tratamiento de recirculación, genera impactos al ambiente, así mismo se observa poca eficiencia.

Referencias bibliográficas

References

- Aguirre, C., Arancibia, H., Grandón, C., Marchant, M. & Andrade, M. (2006). Propuesta de Optimización Técnica de rellenos Sanitarios, un acercamiento metodológico. *Revista de la Construcción*, 5(1), 62–70.
- Betancourt, R. & Martínez, J. (2012). Análisis de aprovechabilidad del lixiviado de un relleno sanitario de una ciudad intermedia en Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*, 5–13.
- Caruajulca, D. (2018). Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos y Diseño de Relleno Sanitario en el Distrito de Oyotún, Provincia de Chiclayo–Lambayeque.
- Decreto Legislativo N°1278. (2017). Aprueba la ley de gestion integral de residuos sólidos. Perú.
- DS N° 014-2017-MINAM. (2017). Decreto Supremo que Aprueban el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 (Decreto legislativo que aprueba la ley de gestion integral de residuos sólidos).
- Fernández, I. Y. (2010). *Diseño y factibilidad de relleno sanitario manual para el Municipio de La Libertad, Departamento de La Libertad* (Doctoral dissertation). Universidad de El Salvador.
- Guillén, R. & Angel, G. (2011). Evaluación del diseño de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos del ámbito Municipal de Cajamarca, Distrito de Jesús, provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca.
- Henriques, A. (2000). *Compresibilidad de los residuos sólidos urbanos* (Doctoral dissertation). Ph. D. thesis, University of Oviedo, Oviedo, Spain.
- INEI. (2017). Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.
- Jaramillo, J. et al. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. *Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (ops/cepis)*.

- MINAM. (08 de noviembre 2019). Infraestructuras de disposición final de residuos sólidos.
- MINAM. (2008). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual.
- MINAM. (2011). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado.
- MINAM. (2018). Guía para el diseño y construcción de Infraestructuras de Disposición Final de residuos sólidos Municipales.
- MINAM. (junio 2019). Avances en materia de residuos solidos a nivel Nacional.
- MMayRN. (2017). Proyecto de Fortalecimiento de la Capacidad Institucional en el Manejo Integral de los Residuos Sólidos a Nivel Nacional en la República Dominicana - Manual sobre Disposición Final de residuos sólidos municipales. *Ministerio del Medio Ambiente y recursos naturales*.
- MMMyA. (2012). Guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios.
- MPH. (2015). Proyecto de Desarrollo de sistemas de gestion integral de residuos sólidos en zonas prioritarias: Informe N° 03 Expediente técnico de Disposición Final - Municipalidad Provincial de Huamanga.
- Nicola Gómezjurado, G. G. (2017). Diseño del sistema de recogida, tratamiento y eliminación de residuos sólidos para poblaciones de la zona alta del cantón Ambato, república del Ecuador.
- Peña, V. (21 de agosto del 2019). Relleno sanitario a un 25% de su capacidad en sólo dos años.
- Pérez, A. & Rojas, J. (2016). Diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado para el distrito de santiago de cao-la libertad 2015.
- Quispe, R. (2018). Evaluación del diseño de infraestructura de relleno sanitario para la localidad de Ocuvi, distrito de Ocuvi, provincia de Lampa-Puno.
- Röben, E. (2002). Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. *Municipalidad de Loja. Ecuador*.
- Sáez, A. & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121–135.
- Sakurai, K. (1983). Análisis de Residuos Sólidos Municipales. *CEPIS/OPS Lima–Perú*.

- Sandoval, E., Ramirez, A. & Cuarán, D. (2015). Resistencia al esfuerzo cortante en rellenos sanitarios. *Dyna*, 82(193), 83–92.
- Silveira, A. M. d. M. (2004). *Estudo do peso específico de resíduos sólidos urbanos* (Doctoral dissertation). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Turcumán, M., Fiore, J. & Vázquez, G. (2009). Estudio de un vertedero controlado. Análisis de su estabilidad a través de la estimación de la compresibilidad. En *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, REDISA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*.
- Ullca, J. (2005). Los rellenos sanitarios. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, (4), 2–17.
- Vallejo, A. & Díaz, L. (2017). Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica, Cesar.
- Zacari Mamani, I. (2006). *Análisis y evaluación de maquinaria pesada para relleno sanitario* (Doctoral dissertation).

Anexo A

Matriz de consistencia

"EVALUACION Y OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019."			
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
PROBLEMA GENERAL: ¿De qué manera Optimizar el diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el Relleno Sanitario de Huamanga? PROBLEMAS ESPECÍFICOS: 1. ¿Cuál es el diseño de infraestructura y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos que ingresan en el relleno sanitario de Huamanga. 2. ¿Cómo mejorar el diseño para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final. 3. ¿Cuál es el manejo y diseño de tratamiento de los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final.	OBJETIVO GENERAL: Evaluar y optimizar el diseño de la infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos en el Relleno Sanitario de Huamanga. OBJETIVO ESPECÍFICOS: 1. Conocer el diseño de infraestructura y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos que ingresan en el relleno sanitario de Huamanga. 2. Plantear un mejoramiento del diseño para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final, mediante la obtención de parámetros reales de confinamiento en campo. 3. Analizar el manejo y el diseño de tratamiento de los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final.	HIPÓTESIS GENERAL: La optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos sólidos, determinará el tiempo de vida útil real y plantear un funcionamiento adecuado del Relleno Sanitario de Huamanga. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS: 1. El diagnóstico del diseño de infraestructura y el sistema de manejo actual de los residuos sólidos permitirá conocer las características de la infraestructura existente y la generación de residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario de Huamanga. 2. Se mejorará el diseño de capacidad de almacenamiento de la infraestructura para el tratamiento de los residuos sólidos en la trinchera de disposición final, utilizando parámetros reales de confinamiento en campo. 3. El manejo y diseño de tratamiento para los lixiviados producidos en la trinchera de disposición final, será insuficiente en cuanto a su capacidad instalada.	VARIABLES DEPENDIENTES: - Diseño de infraestructura. INDICADOR - Tiempo de vida útil (años). - Celda diaria (m). VARIABLES INDEPENDIENTES: - Generación de residuos. - Confinamiento de residuos. - Capacidad de almacenamiento. - Generación de lixiviados. INDICADORES - cantidad de residuos (t). - Densidad compactada (kg/m³). - Densidad estabilizada (kg/m³). - Material de cobertura (%). - Volumen de disposición final (m³). - volumen de lixiviados (m³).

Figura A.1 Matriz de Consistencia

Anexo B

Panel fotográfico



Figura B.2 Trabajos de nivelación de superficies para conformación de celda diaria
Fuente: Elaboración propia



Figura B.3 Trabajos de diagnostico de la infraestructura de la terraza N°03 del relleno sanitario de Huamanga

Fuente: Elaboración propia



Figura B.4 Trabajos de diagnostico del sistema de disposición final de residuos sólidos en el relleno sanitario de Huamanga

Fuente: Elaboración propia



Figura B.5 Trabajos de control topográfico con nivel de ingeniero en conformación de celda diaria
Fuente: Elaboración propia



Figura B.6 Trabajos de control topográfico con estación total de las dimensiones de la terraza N°03
Fuente: Elaboración propia



Figura B.7 Entrevista al sub-gerente de servicios públicos del Municipio Distrital de Carmen Alto
Fuente: Elaboración propia



Figura B.8 Entrevista al sub-gerente de servicios municipales del Municipio Distrital de Jesus Nazareno
Fuente: Elaboración propia

Anexo C

Fichas de registro de datos

Tabla C.1 Formato N° 01: Dimensiones de la celda diaria

N°	dia	fecha	Peso confinado			Area	Altura
			peso turno noche(a)	peso turno dia(b)	peso total (a+b)		
			(kg)	(kg)	(kg)	(m ²)	(m)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.2 Formato N°02: Material de cobertura en la celda diaria

N°	dia	fecha	carguio y transporte			cubierta en celda diaria	
			N° palas	N° volquetes	capacidad (m ³)	Volumen (m ³)	Altura (m)

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D

Memorias de cálculo

- Cálculo de volumen acumulado de disposición final distintos casos sin y con optimización:
 - a. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario sin recuperación de residuos sólidos aprovechables al 0%.
 - b. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 3.5%
 - c. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 15.31%
 - d. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 85.37%

Tabla D.3 Cálculo de la vida útil del relleno sanitario sin recuperación de residuos sólidos aprovechables al 0%.

N°	Año	Generación de residuos sólidos			Volumen de residuos sólidos				
		generación total de residuos sólidos	generación total anual de residuos	acumulado	compactados	estabilizados	Relleno sanitario		
		municipales a disponer	sólidos municipales a disponer				material de cobertura	volumen de disposición final	acumulado
		(t/día)	(t/año)	(t)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)	(m³/año)
0	2017	172.21	62,857.14	62,857.1	89,014.87	80,204.39	31,324.33	111,528.72	0.00
1	2018	182.31	66,542.54	66,542.5	94,233.93	84,906.88	33,160.92	118,067.80	118,067.80
2	2019	192.85	70,390.23	136,932.8	99,682.82	89,816.45	35,078.39	124,894.84	242,962.63
3	2020	203.10	74,133.16	211,065.9	104,983.36	94,592.35	36,943.65	131,536.00	374,498.63
4	2021	213.97	78,097.70	289,163.6	110,597.72	99,651.01	38,919.34	138,570.35	513,068.99
5	2022	224.85	82,068.78	371,232.4	116,221.36	104,718.04	40,898.30	145,616.34	658,685.32
6	2023	232.55	84,879.47	456,111.9	120,201.71	108,304.42	42,298.98	150,603.40	809,288.72
7	2024	240.55	87,800.33	543,912.2	124,338.07	112,031.38	43,754.57	155,785.94	965,074.67
8	2025	248.87	90,836.28	634,748.5	128,637.42	115,905.19	45,267.51	161,172.69	1'126,247.36
9	2026	257.51	93,992.49	728,741.0	133,107.06	119,932.43	46,840.38	166,772.81	1'293,020.17
10	2027	266.51	97,274.37	826,015.4	137,754.68	124,120.04	48,475.87	172,595.92	1'465,616.09
				días del año:	365	días	Total (m³)		1'465,616.09

densidad compactada: 0.706 t/m³
densidad estabilizada: 0,784 t/m³
material de cobertura: 35.19%

Tabla D.4 Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 3.5%

Nº	Año	Generación de residuos solidos			Volumen de residuos sólidos				
		generación total de residuos sólidos	generación total anual de residuos	acumulado	compactados	estabilizados	Relleno sanitario		
		municipales a disponer	solidos municipales a disponer				material de cobertura	volumen de disposición final	acumulado
		(t/día)	(t/año)						
0	2017	165.84	60,532.80	60,532.8	85,723.27	77,238.58	30,166.02	107,404.60	0,00
1	2018	175.75	64,149.98	64,150.0	90,845.72	81,854.02	31,968.61	113,822.63	113,822.63
2	2019	186.10	67,927.39	132,077.4	96,195.09	86,673.92	33,851.05	120,524.97	234347.60
3	2020	196.16	71,597.93	203,675.3	101,393.11	91,357.46	35,680.24	127,037.69	361,385.29
4	2021	206.82	75,487.89	279,163.2	106,901.86	96,320.96	37,618.77	133,939.73	495,325.02
5	2022	217.49	79,382.16	358,545.4	112,416.71	101,289.97	39,559.44	140,849.41	636,174.43
6	2023	224.97	82,113.72	440,659.1	116,284.99	104,775.37	40,920.69	145,696.06	78,1870.49
7	2024	232.75	84,953.05	525,612.1	120,305.90	108,398.30	42,335.65	150,733.95	932,604.44
8	2025	240.84	87,905.00	613,517.1	124,486.30	112,164.93	43,806.73	155,971.66	1'088,576.10
9	2026	249.25	90,974.67	704,491.8	128,833.40	116,081.77	45,336.47	161,418.24	1'249,994.34
10	2027	257.99	94,167.40	798,659.2	133,354.76	120,155.61	46,927.54	167,083.15	1'417,077.49
dias del año:				365	dias	Total (<i>m³</i>)			1'417,077.49
densidad compactada:				0.706	<i>t/m³</i>				
densidad estabilizada:				0.784	<i>t/m³</i>				
material de cobertura:				35.19%					

Tabla D.5 Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 15.31%

N°	Año	Generación de residuos sólidos			Volumen de residuos sólidos				
		generación total de residuos sólidos	generación total anual de residuos	acumulado	compactados	estabilizados	Relleno sanitario		
		municipales a disponer	sólidos municipales a disponer				material de cobertura	Volumen de disposición final	acumulado
		(t/día)	(t/año)						
0	2017	145.85	53,233.71	53,233.7	75,386.70	67,925.09	26,528.58	94,453.67	0,00
1	2018	154.40	56,354.88	109,588.6	79,806.72	71,907.63	28,083.98	99,991.62	99,991.62
2	2019	163.32	59,613.49	169,202.1	84,421.38	76,065.55	29,707.89	105,773.44	205,765.05
3	2020	172.01	62,783.38	231,985.4	88,910.41	80,110.26	31,287.57	111,397.84	317,162.89
4	2021	181.21	66,140.94	298,126.4	93,665.21	84,394.44	32,960.79	117,355.23	434,518.12
5	2022	190.42	69,504.05	367,630.4	98,427.87	88,685.71	34,636.77	123,322.47	557,840.60
6	2023	196.94	71,884.43	439,514.9	101,798.83	91,723.01	35,823.01	127,546.02	685,386.62
7	2024	203.72	74,358.10	513,873.0	105,301.91	94,879.37	37,055.74	131,935.12	817,321.74
8	2025	210.77	76,929.25	590,802.2	108,943.03	98160.10	38,337.05	136,497.15	953,818.89
9	2026	218.09	79,602.24	670,404.5	112,728.37	101,570.78	39,669.11	141,239.89	1´095,058.78
10	2027	225.70	82,381.66	752,786.1	116,664.44	105,117.27	41,054.22	146,171.48	1´241,230.27
días del año:				365	días	Total (m³)			1´241,230.27
densidad compactada:				0.706	t/m³				
densidad estabilizada:				0.784	t/m³				
material de cobertura:				35.19%					

Tabla D.6 Cálculo de la vida útil del relleno sanitario con recuperación de residuos sólidos aprovechables al 85.37%

Nº	Año	Generación de residuos sólidos			Volumen de residuos sólidos				
		generación total de residuos sólidos	generación total anual de residuos	Acumulado	compactados	estabilizados	Relleno sanitario		
		municipales a disponer	solidos municipales a disponer				material de cobertura	volumen de disposición final	Acumulado
		(t/día)	(t/año)						
0	2017	25.19	9,196.00	9,196.0	13,022.88	11,733.90	4,582.75	16,316.65	0,00
1	2018	26.67	9,735.17	18,931.2	13,786.42	12,421.88	4,851.44	17,273.32	17,273.32
2	2019	28.21	10,298.09	29,229.3	14,583.60	13,140.15	5,131.97	18,272.11	35,54.,43
3	2020	29.71	10,845.68	40,074.9	15,359.07	13,838.86	5,404.86	19,243.72	54,789.15
4	2021	31.30	11,425.69	51,500.6	16,180.45	14,578.94	5,693.90	20,272.84	75,061.99
5	2022	32.89	12,006.66	63,507.3	17,003.19	15,320.25	5,983.42	21,303.67	96,365.66
6	2023	34.02	12,417.87	75,925.2	17,585.51	15,844.94	6,188.34	22,033.28	118,398.94
7	2024	35.19	12,845.19	88,770.4	18,190.66	16,390.19	6,401.29	22,791.48	141,190.42
8	2025	36.41	13,289.35	102,059.7	18,819.65	16,956.93	66,22.64	23,579.56	164,769.99
9	2026	37.67	13,751.10	115,810.8	19,473.56	17,546.12	6,852.75	24,398.86	189,168.85
10	2027	38.99	14,231.24	130,042.0	20,153.51	18,158.76	7,092.02	25,250.78	214,419.63
dias del año:				365	dias	Total (<i>m³</i>)			214,419.63
densidad compactada:				0.706	<i>t/m³</i>				
densidad estabilizada:				0.784	<i>t/m³</i>				
material de cobertura:				35.19%					

Anexo E

Reporte de ensayos

- Reporte de resultados de ensayo de campo in-situ: densidad remplazo de agua ASTM-D5030.
- Reporte de resultados de ensayo de laboratorio: contenido de Humedad ASTM-D2216.


INGEOMAX
S.A.C.

INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO
ESPECIALISTAS EN SUELOS, CONCRETO Y
PAVIMENTOS

DENSIDAD REEMPLAZO DE AGUA
(NTP 339.253, ASTM D-5030)

Proyecto **TESIS: "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019."**

Solicitante	Bachiller Yoel Luque Mendez	Region	Ayacucho
Calicata	residuos solidos	Provincia	Huamanga
Estrato	edad 06 meses	Distrito	Tambillo
Fecha	9/11/2019	Lugar	Lindipampa

UBICACIÓN			Relleno Sanitario de Huamanga		
DETERMINACION DE LA DENSIDAD IN-SITU					
	DESCRIPCION		Ensayo N°01	Ensayo N°02	Ensayo N°03
1	DIAMETRO DEL ANILLO METALICO		1.80	1.80	1.80
2	ALTURA DE HOYO	m	0.49	0.46	0.525
3	DIAMETRO DEL HOYO	m	1.52	1.32	1.42
4	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO + CILINDRO	kg	265.18	290.12	270.52
5	PESO DEL CILINDRO	kg	15.00	15.00	15.00
6	N° DE PESADAS CILINDRO	N°	3.00	3.00	3.00
7	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg	220.18	245.12	225.52
8	PESO DEL LIQUIDO + RECIPIENTE	kg	300.73	318.93	309.40
9	PESO DEL RECIPIENTE	kg	0.85	0.85	0.85
10	N° DE PESADAS RECIPIENTE	N°	17.00	18.00	17.00
11	PESO DEL LIQUIDO	kg	286.28	303.63	294.95
12	DENSIDAD DEL AGUA A T=11°C	kg/m³	999.68	999.68	999.68
13	VOLUMEN DEL LIQUIDO	m3	0.286	0.304	0.295
14	DENSIDAD DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg/m³	768.87	807.05	764.36
15	DENSIDAD IN-SITU DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg/m³	780.10		

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRÍA N° 104 - Jesús Nazareno - Ayacucho, CEL: 99526400

EMAIL: ingeomax@hotmail.com, comercial@ingeomaxsac.com

INGEOMAX
Ing. Maxwil Anthony Morote Arias
CIP. N° 17284
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS



DENSIDAD REEMPLAZO DE AGUA (NTP 339.253, ASTM D-5030)

Proyecto TESIS: "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019."

Solicitante	Bachiller Yoel Luque Mendez	Region	Ayacucho
Calicata	residuos solidos	Provincia	Huamanga
Estrato	edad 12 meses	Distrito	Tambillo
Fecha	11/11/2019	Lugar	Lindipampa

UBICACIÓN			Relleno Sanitario de Huamanga		
DETERMINACION DE LA DENSIDAD IN-SITU					
	DESCRIPCION		Ensayo N°04	Ensayo N°05	Ensayo N°06
1	DIAMETRO DEL ANILLO METALICO		1.80	1.80	1.80
2	ALTURA DE HOYO	m	0.50	0.47	0.56
3	DIAMETRO DEL HOYO	m	1.42	1.48	1.45
4	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO + CILINDRO	kg	285.45	256.55	295.34
5	PESO DEL CILINDRO	kg	15.00	15.00	15.00
6	Nº DE PESADAS CILINDRO	Nº	3.00	3.00	3.00
7	PESO DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg	240.45	211.55	250.34
8	PESO DEL LIQUIDO + RECIPIENTE	kg	327.60	273.00	337.13
9	PESO DEL RECIPIENTE	kg	0.85	0.85	0.85
10	Nº DE PESADAS RECIPIENTE	Nº	18.00	15.00	19.00
11	PESO DEL LIQUIDO	kg	312.30	260.25	320.98
12	DENSIDAD DEL AGUA A T=11°C	kg/m³	999.68	999.68	999.68
13	VOLUMEN DEL LIQUIDO	m3	0.312	0.260	0.321
14	DENSIDAD DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg/m³	769.69	812.61	779.69
15	DENSIDAD IN-SITU DEL MATERIAL EXTRAIDO	kg/m³	787.33		

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRÍA N° 104 - Jesús Nazareno - Ayacucho, CEL: 999526400

EMAIL: ingeomax@hotmail.com, comercial@ingeomaxsac.com

INGEOMAX

Ing. Maxwil Anthony Morote Arias
SIP N° 2454
ESPECIALISTA EN GEOTECNICA, SUELOS Y PAVIMENTOS

Figura E.10 Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - muestras de 12 meses

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N°01. Excavación con maquinaria para extracción de material de residuos solidos.



Fotografía N°02. Medición de las dimensiones del hoyo formado.

INGEOMAX
Ing. Maxwell Anthony Morote Arias
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y PAVIMENTOS

Figura E.11 Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - Panel fotográfico 01

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N°03. Pesaje de la muestra extraída de residuos sólidos.



Fotografía N°04. Pesaje de los recipientes para determinar peso de agua.

INGEOMAX
Ing. Maxwell Anthony Morote Arias
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y SUELOS

Figura E.12 Reporte de resultados densidad reemplazo de agua - Panel fotográfico 02

PANEL FOTOGRAFICO



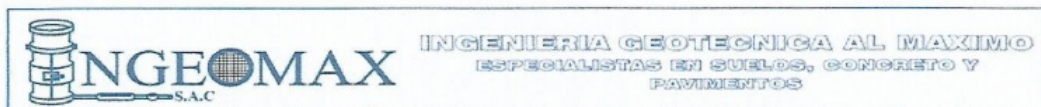
Fotografía N°05. Cubierta con plástico sobre el anillo metalico de control.



Fotografía N°06. Volumen total de agua en remplazo del hoyo formado.

INGEOMAX
ING. Maxwell Anthony Morote Arias
Especialista en Geotecnia y Obras de Mantenimiento

Figura E.13 Reporte de resultados densidad remplazo de agua - Panel fotográfico 03



CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.127, ASTM D-2216)

Proyecto TESIS: "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019."

Solicitante	Bachiller Yoel Luque Mendez	Region	Ayacucho
Calicata	residuos solidos	Provincia	Huamanga
Estrato	edad 06 meses	Distrito	Tambillo
Fecha	18/11/2019	Lugar	Lindipampa

UBICACIÓN			Relleno Sanitario de Huamanga		
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN SECO					
	DESCRIPCION	Nº	M-1	M-2	M-3
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	346.77	305.01	293.98
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	171.03	161.78	155.44
3	PESO RECIPIENTE	gr	68.93	68.84	69.22
4	PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	175.74	143.23	138.54
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	102.10	92.94	86.22
6	CONTENIDO DE HUMEDAD BASE SECA	%	172.13%	154.11%	160.68%
7	CONTENIDO DE HUMEDAD EN SECO	%	162.31%		

UBICACIÓN			Relleno Sanitario de Huamanga		
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN HUMEDO					
	DESCRIPCION	Nº	M-4	M-5	M-6
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	346.77	305.01	293.98
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	171.03	161.78	155.44
3	PESO RECIPIENTE	gr	69.54	68.93	69.22
4	PESO HUMEDO EN LA MUESTRA	gr	277.23	236.08	224.76
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	101.49	92.85	86.22
6	CONTENIDO DE HUMEDAD BASE HUMEDA	%	63.39%	60.67%	61.64%
7	CONTENIDO DE HUMEDAD EN HUMEDO	%	61.90%		

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRÍA N° 104 - Jesús Nazareno - Ayacucho, CEL: 999526400

EMAIL: ingeomax@hotmail.com, comercial@ingeomaxsac.com

INGEOMAX

Ing. Maxwil Anthony Morúa Arias
Especialista en Geotécnica, Suelos y Pavimentos

Figura E.14 Reporte de resultados contenido de humedad - muestras de 06 meses

 INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO ESPECIALISTAS EN SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS	
CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.127, ASTM D-2216)	
Proyecto	TESIS: "EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA-AYACUCHO, 2019."
Solicitante	Bachiller Yoel Luque Mendez
Calicata	residuos solidos
Estrato	edad 12 meses
Fecha	18/11/2019
Region	Ayacucho
Provincia	Huamanga
Distrito	Tambillo
Lugar	Lindipampa

UBICACIÓN		Relleno Sanitario de Huamanga	
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN SECO			
	DESCRIPCION	Nº	M-4 M-5 M-6
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	242.30 318.62 285.25
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	145.42 181.17 171.74
3	PESO RECIPIENTE	gr	69.54 67.85 68.68
4	PESO AGUA EN LA MUESTRA	gr	96.88 137.45 113.51
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	75.88 113.32 103.06
6	CONTENIDO DE HUMEDAD BASE SECA	%	127.68% 121.29% 110.14%
7	CONTENIDO DE HUMEDAD EN SECO	%	119.70%

UBICACIÓN		Relleno Sanitario de Huamanga	
DETERMINACION DE LA HUMEDAD EN HUMEDO			
	DESCRIPCION	Nº	M-4 M-5 M-6
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	242.30 318.62 285.25
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE DE LA MUESTRA	gr	145.42 181.17 171.74
3	PESO RECIPIENTE	gr	69.54 68.93 68.68
4	PESO HUMEDO EN LA MUESTRA	gr	172.76 249.69 216.57
5	PESO SECO DE LA MUESTRA	gr	75.88 112.24 103.06
6	CONTENIDO DE HUMEDAD BASE HUMEDA	%	56.08% 55.05% 52.41%
7	CONTENIDO DE HUMEDAD EN HUMEDO	%	54.51%

DIRECCION JR. CIRO ALEGRÍA N° 104 - Jesús Nazareno - Ayacucho, CEL: 999526400

EMAIL: ingeomax@hotmail.com, comercial@ingeomaxsac.com

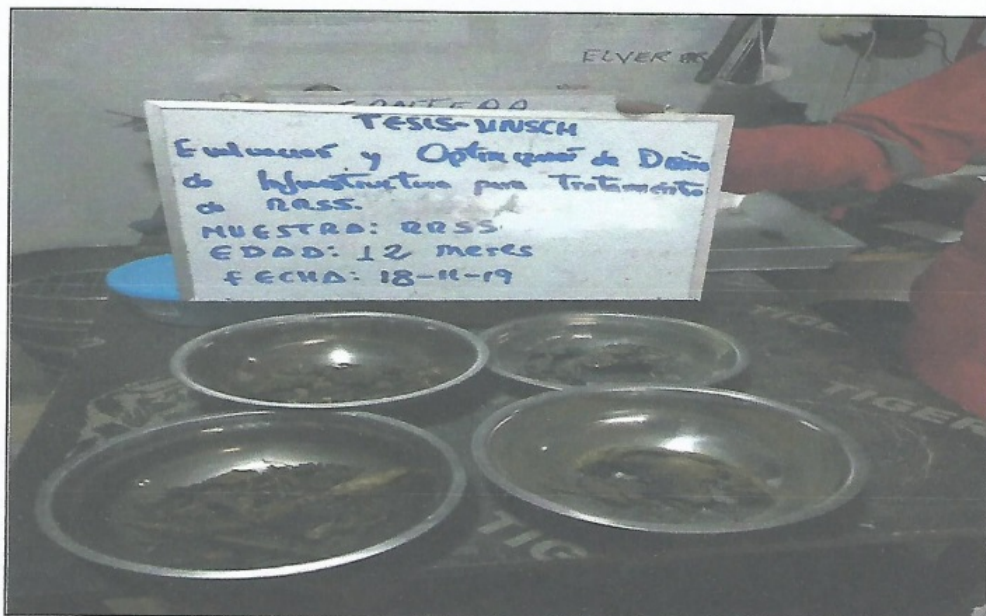

Ing. Maxwell Anthony Morote Arias
 ESPECIALISTA EN GEOTECNICA Y PAVIMENTOS

Figura E.15 Reporte de resultados contenido de humedad - muestras de 12 meses

PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía N°01. Pesaje de muestra húmeda de residuos sólidos.



Fotografía N°02. Pesaje de muestra seca de residuos sólidos.

INGEOMAX
 Ing. Maxwil Anthony Morola Arias
 ESPECIALISTA EN GEOTECNIA Y MOVIMIENTOS

Figura E.16 Reporte de resultados contenido de humedad - Panel fotográfico 01

Anexo F

Acervo documentario

- Solicitud presentada al Municipio Provincial de Huamanga sobre acceso a información y autorización de ingreso al relleno sanitario.
- Solicitud presentada al Municipio Distrital de San Juan Bautista sobre acceso a información y entrevista.
- Solicitud presentada al Municipio Distrital de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray sobre acceso a información y entrevista.
- Solicitud presentad al Municipio Distrital de Carmen Alto sobre acceso a información y entrevista.
- Solicitud presentada al Municipio Distrital de Jesús Nazareno sobre acceso a información y entrevista.

**SOLICITO: AUTORIZACION PARA EL
INGRESO AL RELLENO SANITARIO,
CON FINES DE ESTUDIO.**

SEÑOR:

ING. HERNAN ZAMALLOA BRAVO

JEFE DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DE LA MUNICIPALIDAD
PROVINCIAL DE HUAMANGA.

Yo, LUQUE MENDEZ YOEL, identificado con DNI
N°45452668, con domicilio en la Asoc. Los
Licenciados Mz-U/ LT-06 de esta ciudad; ante Ud.
con el debido respeto expongo:

Que, mediante el presente documento y en mi calidad de egresado de la
Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
Huamanga, solicito a Usted la autorización para el ingreso al relleno sanitario de
Huamanga ubicado en Lindipampa, con fines de ejecución de mi trabajo de tesis:
*"Evaluación y optimización del diseño de infraestructura para el tratamiento de residuos
sólidos en el relleno sanitario de Huamanga, 2019"*. según el plan de trabajo de
ejecución adjunto al presente. Así mismo poder acceder a datos e información de la
Gestión integral de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Ayacucho, y
documentos como son PIGARS, ECRS, limpieza pública y programa de Segregación.

Por lo expuesto:

Ruego a Ud. atender mi solicitud por ser justa.

Ayacucho, 24 de setiembre del 2019.

YOEL LUQUE MENDEZ
DNI: 45452668
CEL N°974089265

24 SEP. 2019
Pag. N° Folio:
Firma: 12/50 Firmas:

Figura F.17 Solicitud presentada al Municipio Provincial de Huamanga sobre acceso a información y autorización de ingreso al relleno sanitario.

**SOLICITO: INFORMACION CON
FINES ACADEMICOS.**



SEÑORA:
LIC. MARIA LUZ PALOMINO PRADO.
ALCALDESA DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN JUAN BAUTISTA.

Yo, LUQUE MENDEZ YOEL, identificado con DNI
 N°45452668, con domicilio en la Asoc. Los
 Licenciados Mz-U/ LT-06 de esta ciudad; ante Ud.
 con el debido respeto expongo:

Que, mediante el presente documento y en mi calidad de egresado de la
 Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
 Huamanga; Y que actualmente vengo ejecutando mi trabajo de tesis de Investigación.
 Por lo cual solicito a Usted la autorización para que se me brinde datos e Información
 concerniente a la Gestión Integral de los residuos sólidos municipales del distrito; como
 son los siguientes documentos: Estudio de Caracterización de Residuos sólidos -ECRS,
 FIGARS, limpieza pública y programa de Segregación.

Por lo expuesto:
 Ruego a Ud. atender mi solicitud por ser justa.

Ayacucho, 14 de noviembre del 2019.


 YOEL LUQUE MENDEZ
 DNI: 45452668
 CEL N°974089265

Figura F.18 Solicitud presentada al Municipio Distrital de San Juan Bautista sobre acceso a información y entrevista.



**SOLICITO: INFORMACION CON
FINES ACADEMICOS.**

SEÑOR:
DR. ALCIDES ÑAÑA LUJAN.
**ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE ANDRES AVELINO CACERES
DORREGARAY.**



Yo, **LUQUE MENDEZ YOEL**, identificado con DNI
 N°45452668, con domicilio en la Asoc. Los
 Licenciados Mz-U/ LT-06 de esta ciudad; ante Ud.
 con el debido respeto expongo:

Que, mediante el presente documento y en mi calidad de egresado de la
 Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
 Huamanga; Y que actualmente vengo ejecutando mi trabajo de tesis de Investigación.
 Por lo cual solicito a Usted la autorización para que se me brinde datos e Información
 concerniente a la Gestión integral de los residuos sólidos municipales del distrito; como
 son los siguientes documentos: Estudio de Caracterización de Residuos sólidos -ECRS,
 PIGARS, limpieza pública y programa de Segregación.

Por lo expuesto:
 Ruego a Ud. atender mi solicitud por ser justa.

Ayacucho, 14 de noviembre del 2019.

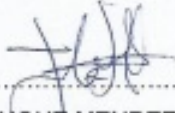

YOEL LUQUE MENDEZ
DNI: 45452668
CEL N°974089265

Figura F.19 Solicitud presentada al Municipio Distrital de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray sobre acceso a información y entrevista.

**SOLICITO: INFORMACION CON
FINES ACADEMICOS.**

SEÑOR:
ABOG. JESUS LLALLAHUI LEON.
ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CARMEN ALTO.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CARMEN ALTO

14 NOV 2019

Registra: 8214 01
Hora: 4:07

Yo, LUQUE MENDEZ YOEL, identificado con DNI
N°45452668, con domicilio en la Asoc. Los
Licenciados Mz-U/ LT-06 de esta ciudad; ante Ud.
con el debido respeto expongo:

Que, mediante el presente documento y en mi calidad de egresado de la
Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
Huamanga; Y que actualmente vengo ejecutando mi trabajo de tesis de Investigación.
Por lo cual solicito a Usted la autorización para que se me brinde datos e Información
concerniente a la Gestión integral de los residuos sólidos municipales del distrito; como
son los siguientes documentos: Estudio de Caracterización de Residuos sólidos -ECRS,
PIGARS, limpieza pública y programa de Segregación.

Por lo expuesto:
Ruego a Ud. atender mi solicitud por ser justa.

Ayacucho, 14 de noviembre del 2019.



YOEL LUQUE MENDEZ
DNI: 45452668
CEL N°974089265

Figura F.20 Solicitud presentada al Municipio Distrital de Carmen Alto sobre acceso a información y entrevista.

**SOLICITO: INFORMACION CON
FINES ACADEMICOS.**

SEÑOR:

JUAN CARLOS VASQUEZ VILLAR.

ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JESUS NAZARENO.

MUNICIPALIDAD DE JESUS NAZARENO	
TRAMITE DOCUMENTARIO	
14 NOV 2019	
Reg. N°	5491
N° Folios	01
Hora:	9:34 a. Firma: 

Yo, LUQUE MENDEZ YOEL, identificado con DNI N°45452668, con domicilio en la Asoc. Los Licenciados Mz-U/ LT-06 de esta ciudad; ante Ud. con el debido respeto expongo:

Que, mediante el presente documento y en mi calidad de egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; Y que actualmente vengo ejecutando mi trabajo de tesis de Investigación. Por lo cual solicito a Usted la autorización para que se me brinde datos e Información concerniente a la Gestión integral de los residuos sólidos municipales del distrito; como son los siguientes documentos: Estudio de Caracterización de Residuos sólidos -ECRS, FIGARS, limpieza pública y programa de Segregación.

Por lo expuesto:

Ruego a Ud. atender mi solicitud por ser justa.

Ayacucho, 14 de noviembre del 2019.

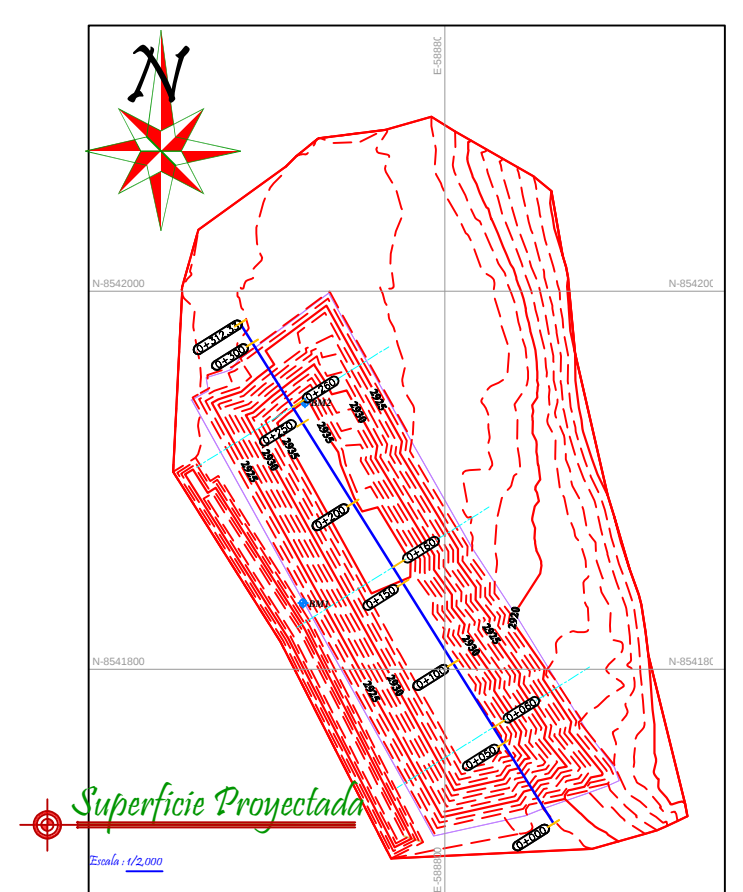
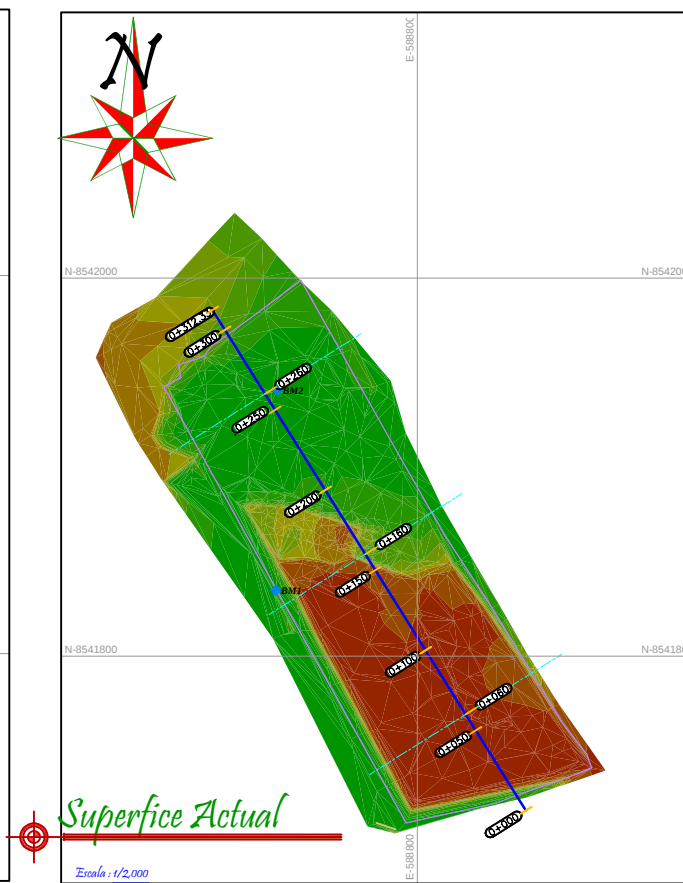
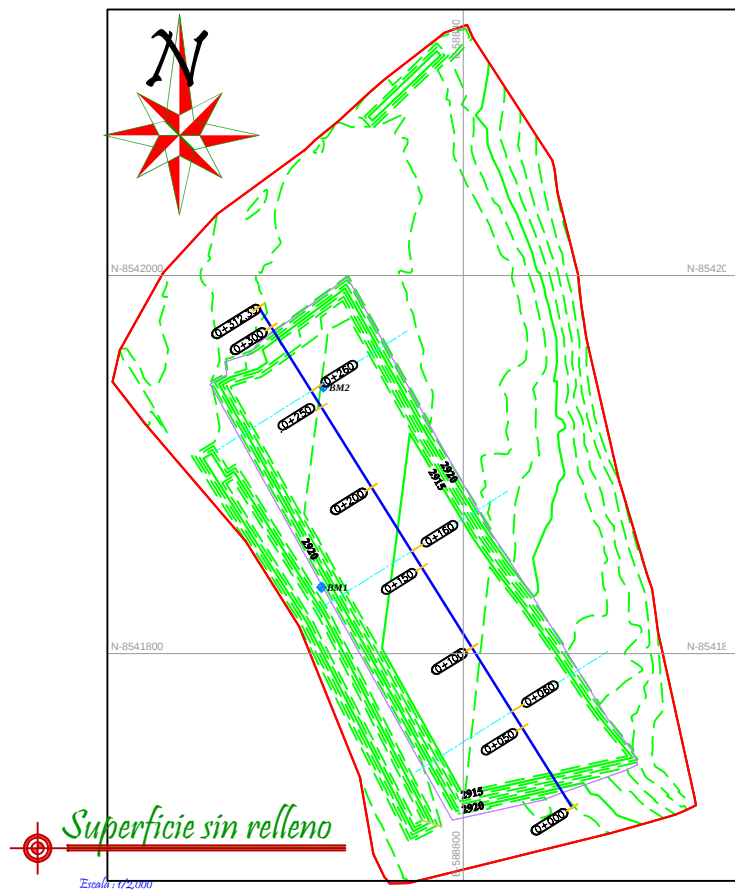
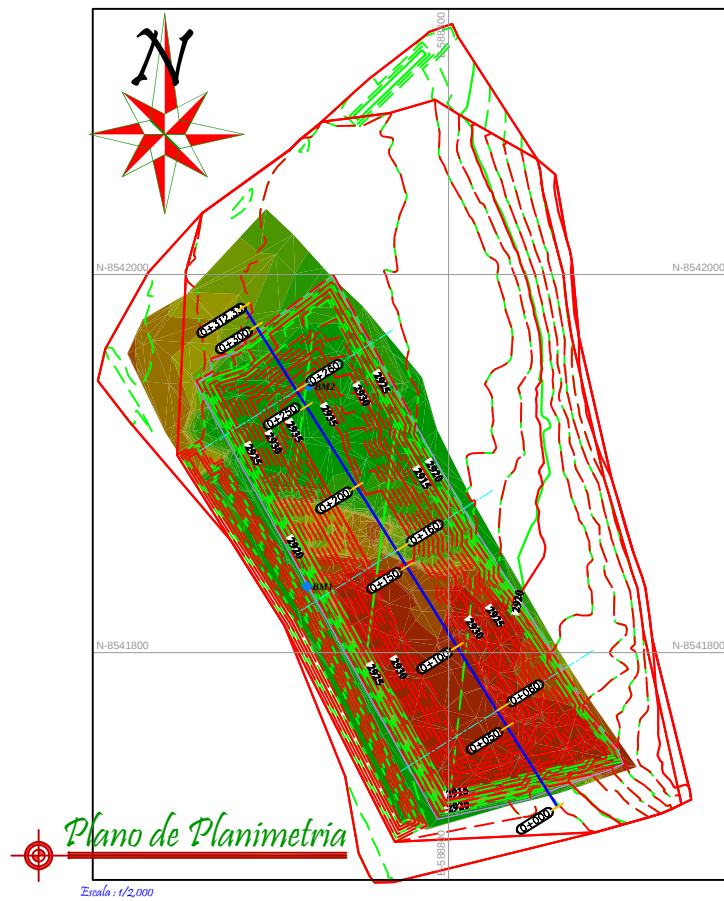

YOEL LUQUE MENDEZ
DNI: 45452668
CEL N°974089265

Figura F.21 Solicitud presentada al Municipio Distrital de Jesús Nazareno sobre acceso a información y entrevista.

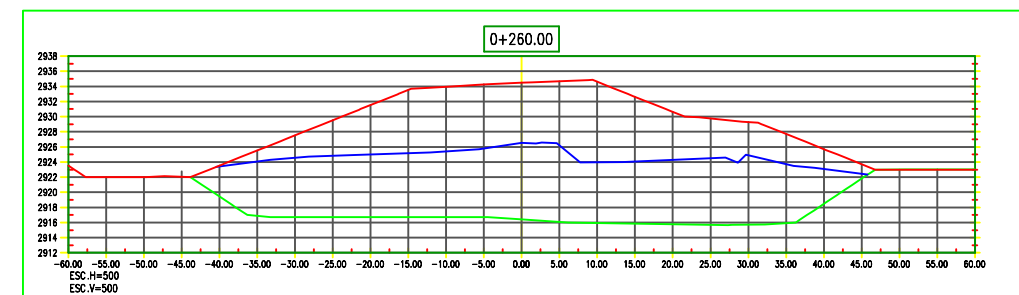
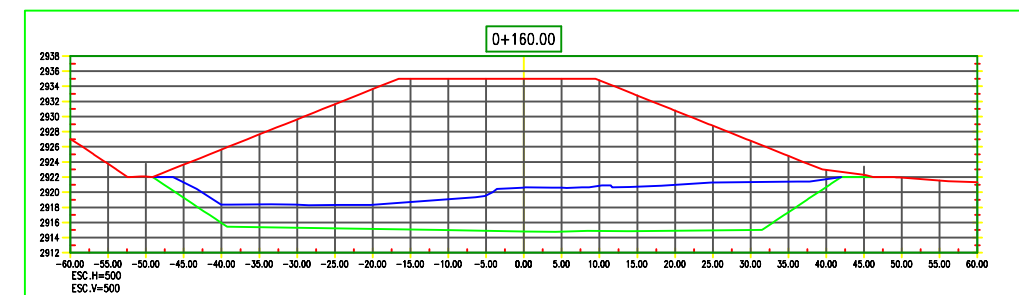
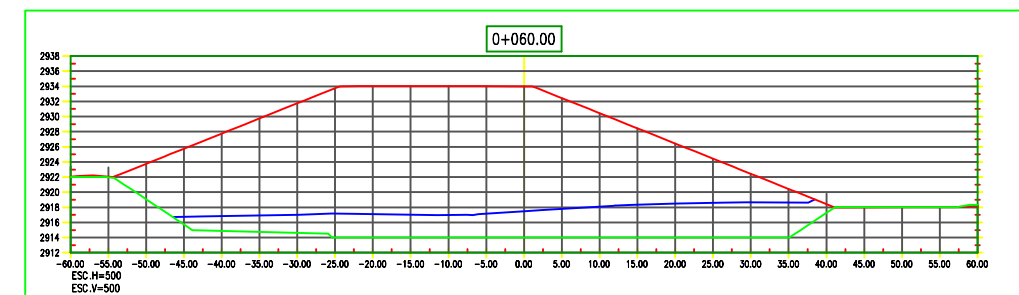
Anexo G

Planos

- Plano de planta, elevación y secciones del relleno sanitario de Huamanga.
- Plano de la ubicación de los puntos de ensayo realizado en el relleno sanitario de Huamanga.



Perfiles Transversales

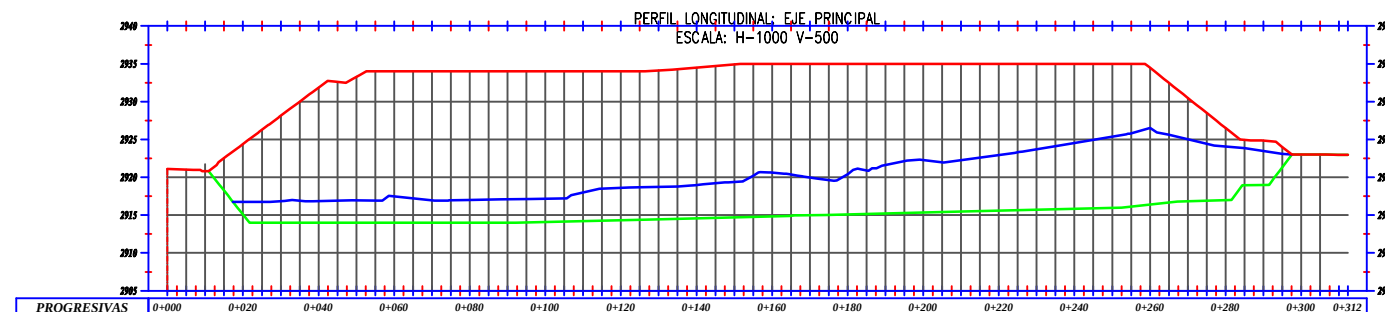


CUADRO DE COORDENADAS UTM				
N°	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	8541941.000	588726.000	2924.000	BM2
2	8541835.000	588725.000	2924.000	BM1

LEYENDA	
	Curva Mayor C'm
	Curva Menor C'm
	Punto De Bñe
	Nivel del proyecto
	Nivel Actual de Relleno
	Nivel proyectado

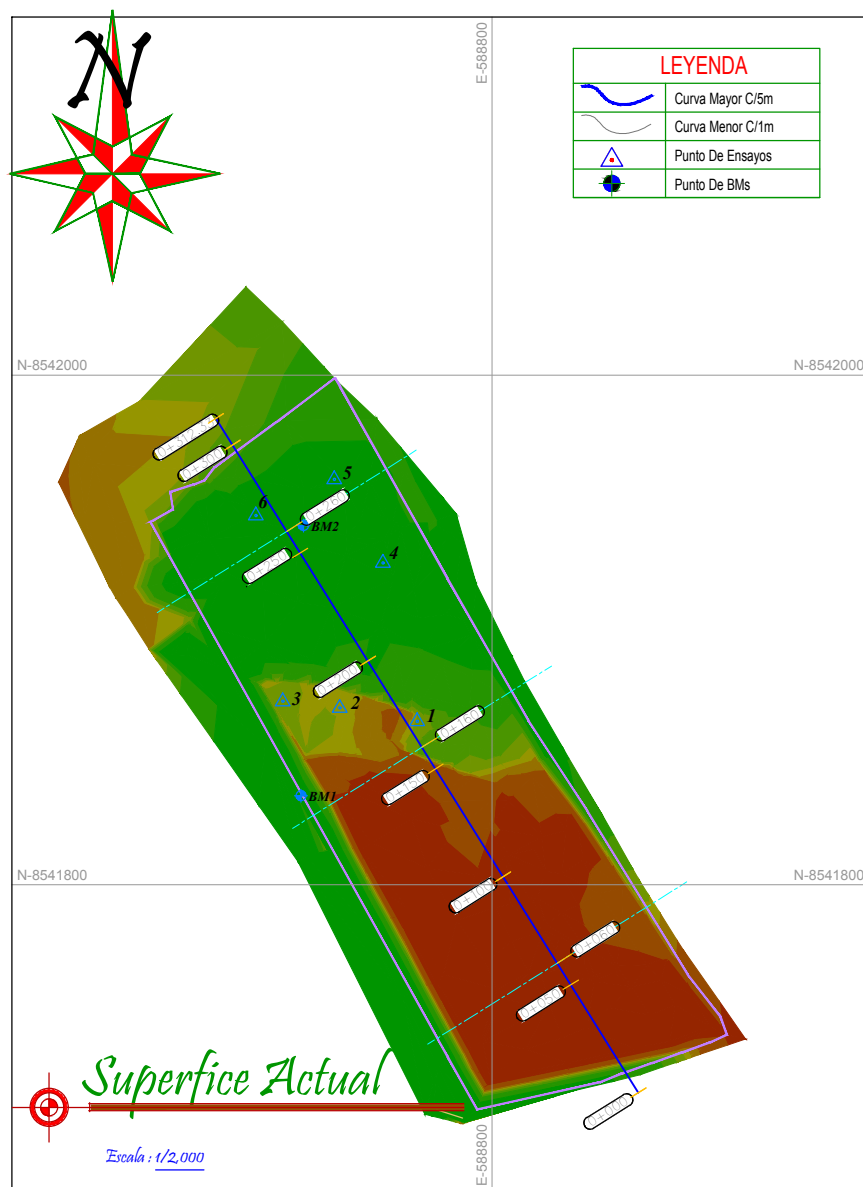
CUADRO DE ELEVACIONES				
Número	Elevación mínima	Elevación máxima	Área	Color
1	2916.66	2917.41	4556.64	■
2	2917.41	2918.45	4744.65	■
3	2918.45	2919.59	2933.15	■
4	2919.59	2919.95	2400.16	■
5	2919.95	2920.18	1828.18	■
6	2920.18	2920.54	2157.72	■
7	2920.54	2921.02	2356.33	■
8	2921.02	2922.20	4545.41	■
9	2922.20	2923.77	6029.62	■
10	2923.77	2927.05	7006.97	■

CUADRO DE MOVIMIENTO DE TIERRA									
PROGRESIVAS	AREA ACTUAL (m²)	AREA SIN RELLENO (m²)	AREA SUPERIOR (m²)	VOL ACTUAL (m³)	VOL SIN RELLENO (m³)	VOL SUPERIOR (m³)	VOL ACUMULADO ACTUAL (m³)	VOL ACUMULADO SIN R. (m³)	VOL ACUMULADO SUPER. (m³)
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	145.88	320.34	113.43	1456.83	3203.36	1134.25	1456.83	3203.36	1134.25
0+040.00	270.03	592.95	533.57	4157.16	6469.96	5613.99	12336.23	7604.22	12336.23
0+060.00	283.14	556.10	768.80	5531.71	11490.55	13023.71	11145.70	23828.77	20627.92
0+080.00	271.57	539.85	771.17	5547.11	10957.53	15398.66	16692.81	34784.31	36027.58
0+100.00	268.00	521.93	783.93	5395.71	10615.83	15550.93	22088.52	45400.13	51578.51
0+120.00	303.93	497.24	801.74	5719.31	10191.89	15956.71	27807.83	55591.82	67435.22
0+140.00	325.50	481.30	822.03	6294.35	9785.36	16237.75	34102.18	65377.20	83672.97
0+160.00	372.06	448.23	858.61	6975.67	9295.30	16806.35	41077.85	74672.50	100479.32
0+180.00	440.49	428.70	857.58	8125.52	8789.29	17161.87	49203.36	83441.79	117641.19
0+200.00	504.41	409.50	848.81	9449.00	8382.02	17063.89	58652.37	91823.81	134705.08
0+220.00	629.02	384.23	853.42	11334.31	7937.28	17022.26	69966.68	99761.09	151727.34
0+240.00	639.54	358.85	874.73	12885.63	7430.79	17281.50	82672.31	107191.88	169008.84
0+260.00	669.13	336.66	858.78	13086.70	6955.07	17335.07	95759.01	114146.95	186343.91
0+280.00	510.88	314.29	597.88	11800.09	6509.41	14566.54	107559.10	120656.36	200910.44
0+300.00	0.00	0.00	259.13	5108.83	3142.85	8570.12	112667.93	123799.21	209480.56
0+312.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2591.34	112667.93	123799.21	212071.90



Perfil Longitudinal

UNSC		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA/ FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
UBICACION: Departamento: AYACUCHO Provincia: HUAMANGA Distrito: TAMBILLO Lugar: LINDIPAMPA		TESIS: "EVALUACION Y OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA, 2019."	
ESCALA: INDICADA		PLANO DE PLANTA, ELEVACION Y SECCIONES DEL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA	LAMINA: 01
BACHILLER: LUQUE MENDEZ, Yoel		FECHA: DICIEMBRE 2019	



CUADRO DE COORDENADAS UTM				
Nº	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
1	8541941.000	588726.000	2924.000	BM2
2	8541835.000	588725.000	2924.000	BM1

CUADRO DE COORDENADAS UTM ENSAYOS				
Nº	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCIÓN
6	8541944.944	588707.371	2923.748	DOCE MESES
5	8541959.099	588738.102	2923.724	DOCE MESES
4	8541926.320	588757.258	2924.554	DOCE MESES
3	8541871.961	588717.904	2920.291	SEIS MESES
2	8541869.371	588740.258	2920.120	SEIS MESES
1	8541864.159	588770.612	2920.225	SEIS MESES

CUADRO DE ELEVACIONES				
Número	Elevación mínima	Elevación máxima	Área	Color
1	2916.66	2917.41	4556.64	
2	2917.41	2918.45	4744.65	
3	2918.45	2919.59	2933.15	
4	2919.59	2919.95	2400.16	
5	2919.95	2920.18	1828.18	
6	2920.18	2920.54	2157.72	
7	2920.54	2921.02	2356.33	
8	2921.02	2922.20	4545.41	
9	2922.20	2923.77	6029.62	
10	2923.77	2927.05	7006.97	

 UNSCH UBICACION: Departamento: AYACUCHO Provincia: HUAMANGA Distrito : TAMBILLO Lugar: LINDIPAMPA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
	TESIS: "EVALUACION Y OPTIMIZACION DEL DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA, 2019."	
	PLANO DE UBICACION DE PUNTOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN EL RELLENO SANITARIO DE HUAMANGA	LAMINA: 02
ESCALA: INDICADA	BACHILLER: LUQUE MENDEZ, Yoel	FECHA: DICIEMBRE 2019