

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

PROPUESTA DE DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PARA EL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA 2021

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Luis Alberto Sanchez Alaya
Augusto Aaron Perez Angulo

Asesor:

Mg. Betzabe Sulma Churampi Casas

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedicamos esta tesis principalmente a Dios, por darnos la oportunidad de vivir y por estar con nosotros en cada día, por fortalecer nuestros corazones y ser el encargado de llevarnos por el camino del bien, por iluminar nuestra mente en este proceso de formación profesional.

A nuestros padres por ser las personas que nos motivaron para la realización de esta investigación, brindándonos siempre el cariño constante y apoyo incondicional.

De igual manera a nuestros familiares, amigos y docentes, por estar siempre presentes brindándonos valiosos conocimientos, los cuales fueron esenciales para crecer día a día.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por ser quien nos bendice la vida, por mantenernos en el sendero del bien,
ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

A nuestras familias que, de manera independiente, nos acompañaron durante todo el proceso de
esta investigación, agradecemos toda su confianza y el apoyo incondicional que nos brindaron
para ser mejores cada día.

De igual manera agradecemos a nuestros hermanos (as) que fueron las personas que con sus
palabras motivadoras nos ayudan a cumplir nuestros sueños y objetivos personales.

A nuestra asesora de tesis Mg. Betzabe Sulma Churampi Casas, quien fue la encargada de
orientarnos para la realización de esta investigación; por todo su apoyo incondicional y sobre
todo por sus palabras de ánimo que permitieron la culminación de este estudio.

Gracias a todas las personas inmersas en la realización de este estudio, por brindarnos siempre el
apoyo y compartirnos sus conocimientos de forma constante y generosa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| DEDICATORIA | 2 |
| AGRADECIMIENTO | 3 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 6 |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | 7 |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | 8 |
| RESUMEN..... | 9 |
| CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1. Realidad problemática | 10 |
| Definiciones conceptuales | 19 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 41 |
| 1.3. Objetivos..... | 41 |
| 1.4. Hipótesis | 41 |
| CAPÍTULO II. METODOLOGÍA..... | 42 |
| 2.1. Tipo de investigación..... | 42 |
| 2.2. Materiales, instrumentos y métodos | 42 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos | 43 |
| 2.4. Procedimiento | 43 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS..... | 75 |
| 3.1. Parámetros de caracterización de residuos sólidos municipales | 75 |
| 3.1.1. Generación per cápita | 75 |

| | | |
|---|---|-----|
| 3.2. | Cálculos de proyección de habitantes y residuos sólidos hasta el año 2031 | 80 |
| 3.3. | Volumen, área y vida útil del relleno sanitario..... | 83 |
| 3.4. | Cálculo de la generación de lixiviados | 91 |
| CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | | 92 |
| 4.1 | Discusión | 92 |
| 4.2 | Conclusiones..... | 94 |
| REFERENCIAS..... | | 96 |
| ANEXOS..... | | 99 |
| 1. | Temperatura promedio mínima y máxima, humedad relativa y precipitación, Cajamarca 2020. | 99 |
| 2. | Datos meteorológicos, Cajamarca 2020. | 100 |
| 3. | Temperatura máxima y mínima mensual, Cajamarca 2020. | 101 |
| 4. | Humedad relativa promedio, Cajamarca 2020. | 102 |
| 5. | Gráfico de precipitación, Cajamarca 2020 | 103 |
| 6. | Modelamiento propuesto del relleno sanitario. | 104 |
| 7. | Plano relleno sanitario (celdas), distrito de Baños del Inca..... | 108 |
| 8. | Guía para el diseño y construcciones de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (2019) | 109 |
| 9. | Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado (2011) | 110 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Clasificación de los rellenos Sanitarios | 24 |
| Tabla 2 Resumen de las principales ventajas y limitaciones del relleno sanitario..... | 29 |
| Tabla 3 Población urbana - rural..... | 35 |
| Tabla 4 Puntaje máximo ponderado por parámetro de evaluación..... | 55 |
| Tabla 5 Escala de calificación para el puntaje ponderado final | 56 |
| Tabla 6 Tipo de residuos que representan riesgos y peligros potenciales a un relleno sanitario.. | 62 |
| Tabla 7 Cálculo de la capacidad útil del diseño..... | 70 |
| Tabla 8 Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario | 72 |
| Tabla 9 Generación per cápita MDBI..... | 75 |
| Tabla 10 Densidad promedio | 76 |
| Tabla 11 Composición física de residuos sólidos | 78 |
| Tabla 12 Proyección de la población | 81 |
| Tabla 13 Proyección de los residuos generados en el distrito de Baños del Inca | 82 |
| Tabla 14 Volumen mínimo útil..... | 84 |
| Tabla 15 Cálculo de la capacidad útil de diseño..... | 88 |
| Tabla 16 Volumen anual de residuos dispuestos | 89 |
| Tabla 17 Producción de aguas lixiviadas en función del porcentaje de la precipitación..... | 91 |
| Tabla 18 Producción de aguas lixiviadas en función del factor de generación | 91 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Relleno sanitario manual | 26 |
| Figura 2: Relleno sanitario semi-mecanizado | 27 |
| Figura 3: Relleno sanitario mecanizado | 28 |
| Figura 4: Método de trinchera | 31 |
| Figura 5: Método de área | 32 |
| Figura 6: Combinación de ambos métodos | 34 |
| Figura 7: Promedio de composición de los residuos sólidos municipales | 75 |
| Figura 8: Promedio de composición de los residuos sólidos municipales aprovechables | 76 |
| Figura 9: Modelamiento del relleno sanitario | 89 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1: Crecimiento poblacional | 65 |
| Ecuación 2: Generación per cápita..... | 66 |
| Ecuación 3: Fórmula de estimación de la cantidad de residuos..... | 67 |
| Ecuación 4: Método Suizo, estimación de generación de lixiviados | 72 |
| Ecuación 5: Áreas adicionales en función del 20% o 40% | 86 |

RESUMEN

La investigación realizada tuvo como objetivo proponer un diseño de relleno sanitario para el distrito de Baños del Inca. El análisis se realizó bajo un diseño no experimental transversal de tipo descriptivo, basado en información técnica preliminar del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales 2019-2023 desarrollada por la municipalidad distrital de Baños del Inca. Para el cálculo del diseño del relleno sanitario se tuvo como base principal la “guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales” desarrollada por el Ministerio del Ambiente en el año 2019. Los cálculos obtenidos fueron la proyección de crecimiento poblacional hasta el año 2031, resultando 53047 habitantes; el cálculo de la capacidad útil del relleno basado en el área mínima requerida más las áreas adicionales, obteniendo así dos áreas 57191.85 m^2 y 66723.83 m^2 ; cálculo de la vida útil (capacidad útil del diseño) siendo esta no menor a 10 años bajo normas técnicas; y el cálculo de generación de lixiviados basándose en el porcentaje de la precipitación, que resultó ser $28.86 \text{ m}^3/\text{día}$; así mismo en función al factor de generación se obtuvo $11661.49 \text{ m}^3/\text{año}$. Concluyendo así que la propuesta del relleno sanitario es viable para el distrito de Baños del Inca.

Palabras Claves: Desechos sólidos, disposición final, relleno sanitario, recursos naturales, impactos ambientales.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las últimas dos décadas del siglo XX y las primeras del XXI se ha identificado y ha venido en ascenso la problemática ambiental como una prioridad para casi todos los países del mundo. Es imperiosa la necesidad de establecer una relación sostenible entre el desmedido crecimiento poblacional, la cultura consumista y la demanda irracional de los recursos naturales. (Gonzáles, 2016)

En ese contexto, es evidente el impacto directo causado por los residuos sólidos en términos de la contaminación del recurso hídrico, la polución del aire, la esterilización del suelo, la proliferación de plagas y sus efectos en la salud pública. Sin duda alguna, para la sociedad contemporánea y futura el control o gestión ambiental es un punto crítico que se convierte en un gran desafío desde las perspectivas de la producción, recolección, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos. (Gonzáles, 2016)

Los residuos se han convertido en el paso del tiempo, en un reto para la política pública de los países, no solo por su disposición sino por la gestión de los mismos, dado que su acumulación es de grandes volúmenes tanto de residuos orgánicos como inorgánicos, cuya difícil descomposición dificulta su reintroducción en los ciclos naturales lo que resulta en una fuerte incidencia en la estabilidad de los ecosistemas. (Hernández y Corredor, 2016)

La inadecuada gestión de los residuos sólidos ha generado impactos negativos tanto para el medio ambiente como la para la salud humana, la descomposición de los residuos sólidos origina la transmisión de enfermedades debido a la gran cantidad de moscas y otros vectores.

Los más susceptibles de ser afectados es la población que vive en estado de pobreza y extrema pobreza de las áreas marginales urbanas, debido a que no cuentan con un sistema de recolección de residuos sólidos, siendo los botaderos o puntos críticos los lugares donde se evidencian la abundancia de desechos sólidos. Otro grupo de riesgo son los recolectores y los recicladores que tienen contacto directo con los residuos sólidos, muchas veces sin protección adecuada. Los recicladores y sus familias que viven en la proximidad de los botaderos pueden ser, a su vez, propagadores de enfermedades al entrar en contacto con otras personas.

El problema de los residuos sólidos municipales ha sido identificado desde hace varias décadas, especialmente en las áreas metropolitanas, las soluciones parciales que hasta ahora se han logrado no abarcan a todos los países de la región ni a la mayoría de las ciudades intermedias y menores, convirtiéndose en un tema político permanente que en la mayoría de casos genera conflictos sociales. (Acurio et al., 2014)

En América Latina y el Caribe (ALC) las viviendas continúan siendo la fuente principal de generación de los residuos sólidos urbanos (RSU), por lo que la información veraz sobre la generación y composición es fundamental para su gestión, ya que en general carecen de infraestructura suficiente para el tratamiento adecuado de estos. (Hernández-Berriel et al., 2016)

La gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU) continúa siendo un tema pendiente para América Latina y el Caribe (ALC). De acuerdo con el Banco Mundial, se proyecta que la generación de RSU en esta área del mundo pasará de los 130 millones de toneladas que se produjeron en el 2012, a 220 millones de toneladas en 2025. (Hernández-Berriel et al., 2016)

El estado peruano al igual que otros países enfrenta desafíos en el manejo de sus residuos sólidos, debido al gran problema demográfico que estamos viviendo año tras año, donde la población llega a concentrarse en ciudades con mayor demanda industrial, laboral, etc. Siendo la población de zonas rurales los migrantes más propensos a abordar ciudades como Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo y otras ciudades. (OEFA, 2016)

Actualmente, el principal problema del manejo de residuos sólidos en el Perú es la escasez de lugares adecuados destinados a su disposición final, se estima que el país requiere de 190 infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos, sin embargo, en el año 2014 existían solo 11 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional. (MINAM, 2017)

Asimismo, la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación de alerta en relación con el manejo de los residuos sólidos en nuestro país. Es por ello que, a fin de prevenir los impactos originados por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, el Estado dentro de sus estrategias nacionales ha incluido el marco normativo institucional de los residuos sólidos en el Perú, el desarrollo de políticas para reducir la generación de los residuos, el fomento de implementación de infraestructuras de aprovechamiento y promoción para la implementación de plantas de aprovechamiento y el reforzamiento de las capacidades municipales en la gestión y manejo de los residuos sólidos. (MINAM, 2017)

La pésima gestión de las municipalidades en todo Perú en materia de residuos sólidos en el siglo pasado y comienzos de este no ha impulsado programas, proyectos y actividades o han sido poco significativos debido a la falta de políticas públicas mejor elaboradas y evidentemente la falta de presupuesto destinado a la gestión de residuos sólidos,

sin embargo, desde hace ya algunos años se está impulsando programas y/o proyectos que permitan la minimización, segregación, valorización y disposición final de residuos sólidos no obstante los grandes esfuerzos que se han hecho es solo el inicio del gran magno alcance que el Perú se está encaminando para resolver el latente problema de los residuos sólidos municipales en el Perú. (MINAM, 2017)

Se señala que la falta de rellenos sanitarios y rellenos de seguridad provoca que los residuos sólidos se coloquen en lugares inadecuados, comúnmente denominados botaderos. En el Perú hay aproximadamente 1,585 botaderos a nivel nacional, de los cuales el primer lugar se lo lleva Ancash con 149 botaderos, seguido por Cajamarca con 123 botaderos y Puno con 111 botaderos, no obstante, por extensión el primer lugar lo ocupa Lambayeque con 438 ha, seguido de Ica con 276 ha y Piura con 201 ha. (OEFA, 2016)

Perú cuenta con 52 rellenos sanitarios de los cuales 43 son solo rellenos sanitarios y 9 son rellenos sanitarios con rellenos de seguridad. Es así que, del total generado en el Perú, casi la mitad (49%) de residuos sólidos van a los rellenos sanitarios que son infraestructuras autorizadas donde se disponen adecuadamente, ayudando a prevenir la contaminación ambiental y el resto de residuos se vierte en los botaderos, que son lugares no autorizados que ponen en riesgo la calidad del ambiente y la salud de las personas. (OEFA, 2016)

En Cajamarca como en otros departamentos del Perú, diversas municipalidades tanto provinciales como distritales vienen implementando planes de gestión de residuos sólidos y la disposición de los mismos en infraestructuras adecuadas. Debido al crecimiento poblacional que viene sufriendo el departamento de Cajamarca y en consecuencia los distritos de Cajamarca, se ve afectado el plan de manejo de residuos sólidos por parte de la

Municipalidad Provincial de Cajamarca, cabe resaltar que Cajamarca como departamento cuenta con un único relleno sanitario autorizado bajo el nombre de Infraestructura de Tratamiento y Disposición final de Cajamarca, ubicado en el distrito Jesús, Provincia de Cajamarca. Esta infraestructura es la encargada de recibir los residuos de cinco distritos de la provincia de Cajamarca, siendo los distritos de Jesús, Llacanora, Baños del Inca, Namora y Cajamarca.

El distrito de Baños del Inca no es ajeno al crecimiento poblacional y por ende tampoco al aumento de residuos sólidos municipales que vienen atravesando diversos distritos de la provincia de Cajamarca, es sabido que el distrito de Baños del Inca viene depositando sus residuos urbanos en la planta de tratamiento de la municipalidad provincial de Cajamarca, a pesar de eso se observan aún problemas de contaminación de residuos en ríos principales que atraviesan o rodean la localidad, además sigue existiendo botaderos de basura o puntos críticos, en espacios libres, canales de riego, acequias, pozos, etc. En otras palabras, todos estos problemas que se suscitan en el distrito de Baños del Inca se dan por diversos motivos siendo las principales causas las fallas en su sistema de recojo de residuos, falta de educación ambiental en la población, poca persistencia en programas de orientación ciudadana para la segregación en fuente, la falta de maquinaria y equipos.

La municipalidad distrital de Baños del Inca, en especial el área de Sub Gerencia de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano, realizó el estudio de caracterización de residuos sólidos municipales para poder obtener datos que estarán comprendidos en los años 2019 a 2024. El estudio brindó datos relacionados con la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios con una cifra de 21.079 toneladas/día que viene a estar representado por una

generación per cápita de 0.44 Kg/día/persona, así mismo los residuos sólidos municipales se vio representado por una cantidad de 24.085 toneladas/día. (MDBI, 2019)

La Sub Gerencia de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano de la municipalidad de Baños del Inca se ve con la necesidad de buscar tecnologías que puedan ayudar, solucionar, y optimizar una gestión adecuada de residuos sólidos municipales. Ante esta preocupación una de las alternativas más propicias para enfrentar este problema medioambiental como es la problemática de residuos sólidos se ve en la necesidad de crear un relleno sanitario que pertenezca solo a la jurisdicción del distrito de Baños del Inca, siendo una solución propicia para la municipalidad distrital de Baños del Inca y la municipalidad provincial de Cajamarca. Si bien el distrito de Baños del Inca está bajo la jurisdicción perteneciente al plan de manejo de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, este acarrea problemas de manejo de residuos en el ámbito de su municipio, siendo la causa principal el elevado crecimiento de residuos por parte directa al crecimiento poblacional del distrito de Baños del Inca.

En el presente, el relleno sanitario moderno se refiere a una infraestructura diseñada y operada como una obra de saneamiento simple, que cumple con parámetros de control lo suficientemente seguros y cuya grandeza radica en la propicia ubicación del sitio a desarrollarse el relleno sanitario, en su diseño, operación y control.

El relleno sanitario forma parte de las soluciones al problema del manejo inapropiado de residuos sólidos tanto para distritos, provincias y departamentos, pues es una técnica de disposición final de los desechos sólidos en el suelo, que no provoca inconvenientes a la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el medio ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, utiliza principios de ingeniería sanitaria para confinar la basura en un área, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola

para reducir su volumen. Además, el acondicionamiento de la infraestructura evita los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, debido a la descomposición de los mismos.

Antecedentes de la investigación

a) Antecedentes Internacionales

Trajano (2016) realizó un estudio ficticio para un relleno sanitario en la ciudad de Macuco, estimando así la vida útil del relleno sanitario y dimensionando el sistema de drenaje de los lixiviados, sistema de drenaje de gases y las capas de base y de cobertura del relleno sanitario. Además, indica que gracias las condiciones topográficas, geotécnicas y climatológicas de la región permitió el diseño de la geometría del terraplén.

Díaz & Vallejo (2017) propuso 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. Realizaron el cálculo con una proyección de los habitantes a 30 años, de mismo modo utilizaron el método corenostós el cual determinó la cantidad de gases y lixiviados que producirían los residuos durante toda la vida útil del relleno, así mismo detallaron los posibles impactos negativos que conllevaría la construcción de la infraestructura después de la clausura y post clausura de dicho relleno.

Merchán & Pomavilla (2019) desarrollaron una investigación donde describieron el diagnóstico ambiental de disposición final de desechos sólidos comunes y sanitarios en la localidad de Ponce Enríquez y del mismo modo desarrollaron el diseño del relleno sanitario bajo la normatividad del estado ecuatoriano. El relleno sanitario cuenta con espacios de

acopio de reciclaje, residuos peligrosos, celdas donde se dispondrán residuos que no presentan utilidad o valor, los lixiviados contarán con un propio tratamiento biológico mediante bacterias anaerobias, construyeron un vivero con la finalidad de producir plantones que sirvan como barreras vivas y aislante de vectores, del mismo modo diseñaron un patio de máquinas para realizar los mantenimientos necesarios y el aparcamiento de vehículos, un centro de administración, la báscula de pesaje y la garita donde se controla el ingreso de los vehículos recolectores de residuos sólidos.

Ruiz & Unapanta (2015) realizaron un estudio con el objetivo de diseñar un relleno sanitario manual para el recinto de Cristóbal Colón, destinado a la disposición final de los residuos sólidos. Proyectaron la población hasta el año 2024 resultando un estimado de 734 habitantes, con una generación de residuos sólidos de 219, 040 Kg/día, lo cual demandó un área de 2224,40 m², donde se aplicó el método de trinchera con una vida útil del relleno de 10 años.

b) Antecedentes Nacionales

Flores & Cubas (2020) realizaron una investigación con el propósito de diseñar un relleno sanitario manual para la disposición final de residuos sólidos en el distrito de Jepelacio - San Martín. Proyectaron. Obtuvieron una generación promedio de residuos sólidos municipales en los 15 años de 3.518 ton/día. El volumen acumulado fue 46,239.122 m³. Del mismo modo realizaron los cálculos para el área aproximada resultando así 2.384 ha para una vida útil de 15 años. Consideraron establecer la ubicación del relleno sanitario a una distancia mayor a 1 km de la vivienda más cercana, además cuenta con todas las especificaciones técnicas que establece la normativa nacional.

Churata Zarate (2017) determinó y dimensionó un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos generados en el distrito de Sicuani, Cusco. Consideró una proyección de la población a 25 años, obteniendo así un estimado de total de 62930 habitantes en el distrito. Del mismo modo calculó la generación de residuos en los 25 años resultando así 377496.447 T; ante los resultados encontrados y analizando sus datos propuso la construcción de un relleno sanitario mecanizado.

Tejada (2018) realizó un estudio con el objetivo principal de diseñar un relleno sanitario para el distrito de San José, cumpliendo los criterios técnicos y normativos enmarcados por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Dirección General de Salud (DIGESA), para lo cual realizó la recopilación de la información existente de la zona de estudio, como el estudio de selección de sitio, estudio de caracterización, estudio geológico, estudio topográfico, el estudio de mecánica de suelos que permitió conocer el tipo de suelo donde se ubicará el proyecto de acuerdo a la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), al igual el estudio de impacto ambiental. El diseño del relleno sanitario se consideró de tipo Manual, en función a la población del distrito que son de 12679 habitantes y una generación per-cápita de residuos de 0.298 kg/hab./día, con los datos obtenidos determinó que el método de Trincheras o Zanjas era el correcto, puesto que se ajustó a la topografía de la zona, material de cobertura y nivel freático. El periodo de diseño fue estimado para 15 años, determinando un área requerida de 2.8 hectáreas.

Pari (2016) realizó una investigación con la finalidad de proponer un diseño de relleno sanitario manual para la disposición final de los desechos sólidos generados por el pueblo de Taraco. Calculó el área requerida siendo esta de 3.16 ha, el volumen de relleno 13501.47 m³, además calculó la vida útil del relleno sanitario siendo esta no menor a 5 años,

el costo de operación y construcción ascendió a S/. 7'620,229.97. Del mismo modo diseño los drenes de lixiviados, chimeneas de evacuación de gases, canales de escorrentía superficial, barreras sanitarias, pozos para el monitoreo del agua subterránea, sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados, señalización, y construcciones complementarias.

Definiciones conceptuales

Residuo Sólido

Residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su propietario renuncie o tenga la intención de renunciar a dicho elemento, para ser administrados primando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final. (Congreso de la República, 2017)

Clasificación de residuos sólidos

a) Por su gestión

Residuos Municipales

Los residuos del dominio de la gestión municipal o residuos municipales, están constituidos por los residuos domiciliarios y los provenientes de los servicios públicos de barrido y limpieza de espacios colectivos, incluyendo los recreos en playas, actividades comerciales y actividades urbanas no domiciliarias cuyos desechos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, con respecto a su jurisdicción. (Congreso de la República, 2017)

Residuos No Municipales

Los residuos del ámbito de gestión no municipal o residuos no municipales, son aquellos de carácter peligroso y no peligroso que se generan en el desarrollo de actividades extractivas, productivas y de servicios. Comprenden los generados en las instalaciones principales y auxiliares de la operación. (Congreso de la República, 2017)

b) Según su peligrosidad

Residuos sólidos peligrosos

Son residuos sólidos peligrosos aquellos que, por sus particularidades o la administración al que son o van a estar sujetos, representan un peligro considerable para la salud humana y el medio ambiente. (Congreso de la República, 2017)

Residuos sólidos no peligrosos

Los residuos sólidos no peligrosos son aquellos que por sus características o el manejo que estos reciban no representan un riesgo relevante para la salud de las personas o el medio ambiente. (Congreso de la República, 2017)

Manejo de residuos sólidos

Se entiende por manejo de residuos sólidos a toda actividad técnica funcional que implique manipuleo, preparación, transporte, traspaso, tratamiento, disposición final o cualquier otro proceso técnico operacional habituado desde la generación hasta su disposición final. (MINAM, 2017)

Gestión integral de residuos

Está relacionada a toda función operacional administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes

y actividades de acción de manejo adecuado de los residuos sólidos. (Congreso de la República, 2017)

a) Plan Provincial de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Es una herramienta de planificación orientada a la gestión municipal de residuos sólidos, el cual permite evaluar y priorizar los problemas actuales y venideros, así como las necesidades y recursos útiles, apoyando a solventar los problemas de las provincias. El plan provincial de gestión de residuos sólidos tiene como base los planes de gestión de residuo sólidos (PIGARS) que implementan las municipalidades provinciales con el fin de declarar todas las actividades realizadas del PIGARS. (MINAM, 2019)

b) Plan Distrital de Manejo de Residuos Sólidos

El plan distrital de manejo de residuos sólidos es una herramienta destinada a la administración distrital de residuos sólidos, el cual facilita evaluar los problemas actuales y priorizar dificultades venideras. El plan distrital de manejo de residuos sólidos o PMR forma parte para la evaluación de la gestión integral y manejo de residuos sólidos en cada distrito. (MINAM, 2019)

Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales

Es un instrumento que permite recabar data relacionada con las características de los residuos sólidos, siendo en este caso residuos municipales. La caracterización de residuos sólidos municipales, se ejecuta a través de un estudio, en el cual se determina datos como: cantidad, densidad, composición y humedad de los residuos sólidos en una determinada área. Esta información permita la organización técnica y la operatividad de manejo de los residuos,

del mismo modo permite una programación técnica y financiera del servicio de limpieza pública. (MINAM, 2019)

Producción Per Cápita

La producción per cápita (PPC), se define como la cantidad generada de residuos por un habitante por día (Kg/habitante x día), este parámetro relaciona la cantidad de residuos generados por cada habitante durante un intervalo de tiempo. El cálculo de la producción per cápita está basado en la división entre los kilos de desechos domiciliarios producidos y la cantidad de personas que habitan la vivienda. (MINAM, 2015)

Disposición Final de residuos sólidos

a) Botadero

El término botadero está relacionado con un espacio público donde se acumulan de manera inapropiada residuos, generando así peligros sanitarios para las personas que transitan dichos espacios y siendo a la vez un problema ambiental. Los botaderos existen al margen de la ley y carecen de consentimiento legal. (Congreso de la República, 2017)

b) Botadero Controlado

Un botadero controlado hace referencia a espacios regulados donde los desechos sólidos vienen a ser compactados y cubiertos con una capa fina de tierra. La técnica del basurero controlado aún es perjudicial para el medio ambiente debido a que no se realiza ninguna medida para controlar los lixiviados y emisión de gases que emiten la descomposición de los residuos sólidos. (Trajano, 2016)

c) Relleno Sanitario

El relleno sanitario es un sistema de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no origina peligros ni riegos a la salud o la seguridad pública; tampoco deteriora el ambiente a lo largo de su operación ni después de su clausura. (MINAM, 2019)

A su vez, en el Informe de la “Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe” (2016), de la Organización Panamericana de Salud (OPS), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), se realiza una descripción más amplia de la operación y las condiciones para su funcionamiento, precisando la siguiente definición:

“Técnica de ingeniería para el confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos sobre un lecho impermeable, su cobertura con tierra u otro material inerte por lo menos diariamente, para el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados, con el fin de evitar la contaminación del ambiente y proteger la salud de la población. El relleno sanitario cuenta con proyecto de ingeniería, control de ingreso en la puerta, pesaje y no existen segregadores en el sitio”

Clasificación de los rellenos sanitarios

Los rellenos sanitarios son clasificados en función a la cantidad de residuos sólidos que se generan en el día, para ello se deberán considerar diferentes criterios.

Tabla 1

Clasificación de los rellenos sanitarios

| Criterio | Manual | Semimecanizado | Mecanizado |
|--|---|---|---|
| Capacidad de disposición de residuos sólidos municipales | Hasta 6 t/día | Superior a 6 hasta 50 t/día | Más de 50 t/día |
| Características de la operación | Las actividades de disposición final de residuos se realizan en forma manual y con empleo de herramientas manuales. Requiere empleo de maquinaria solo para corte y acopio de tierra para cobertura de residuos en área cercana a la destinada a disposición final de residuos. | Las actividades de disposición fina de residuos se realizan necesariamente con equipo multiusos (Por ejemplo: Minicargadora o Retroexcavadora) asignado para utilización exclusiva del relleno sanitario. Para trabajos de acopio o traslado de tierra se considera disponer de cargador frontal y camión volquete. | Las actividades de disposición final de residuos se realizan necesariamente con maquinaria pesada, la que debe estar asignada para uso exclusivo del relleno sanitario. La maquinaria pesada y sus características estarán en relación con la cantidad de residuos que se dispongan, el tipo predominante del suelo de la zona y las condiciones climáticas. El equipamiento mecánico mínimo deberá estar constituido por un tractor de orugas D6D o equivalente, cargador frontal 950 o equivalente y volquete de 14 metros cúbicos. |
| Periodicidad del uso de maquinaria | Esporádica, cuando se necesita por ejemplo para acopio de tierra para cobertura. | Frecuentemente, según la cantidad de residuos que se disponga diariamente, disponibilidad de tierra para cobertura y condiciones climáticas. | Permanente. |

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Relleno sanitario manual

En el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278 se señala que un “relleno sanitario manual es aquel que cuya capacidad de operación diaria no excede a seis (06) toneladas métricas. (Congreso de la República, 2017)

El relleno sanitario manual es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está más disponible que la maquinaria que haría el mismo trabajo. Asimismo, está diseñado para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen hasta seis (6) toneladas diarias (t/día) de residuos sólidos. La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación y cubrimiento de los residuos se realizan por operarios que utilizan herramientas simples como rastrillos, lampas, carretillas, picos, rodillo de compactación manual, entre otros. (MINAM, 2019)

Esta técnica solo requiere maquinaria pesada para realizar la adecuación del lugar como la excavación de zanjas, extracción del material de cobertura, la construcción de las vías y las áreas adicionales que requerirá el relleno sanitario manual. Los demás trabajos se realizan con los propios trabajadores. (MINAM, 2019)



Figura 1: Relleno sanitario manual

Relleno sanitario semi-mecanizado

Es una tecnología que se aplica para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen más de seis (6) t/días hasta los cincuenta (50) t/día. La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación y cubrimiento de los residuos sólidos se realiza empleando equipo mecánico (tractor de orugas, cargador frontal sobre neumáticos u otro), siendo posible el empleo de herramientas manuales para trabajos complementarios relacionados con la disposición final de residuos. (MINAM, 2019)

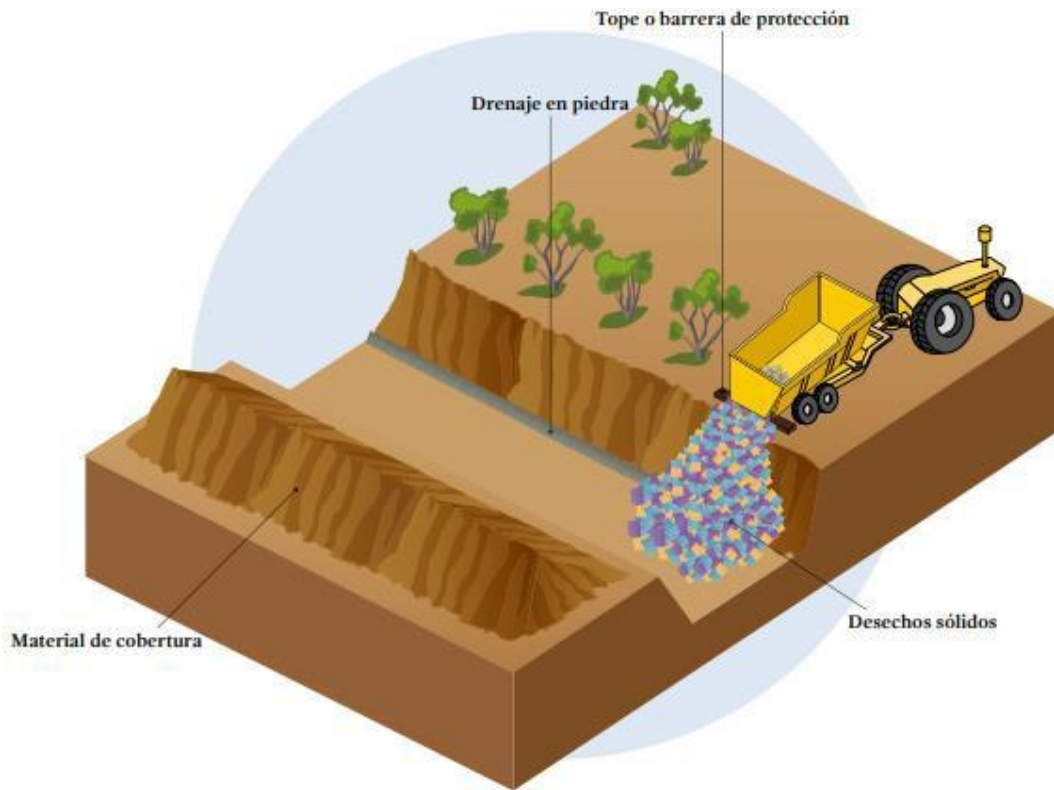


Figura 2: Relleno sanitario semi-mecanizado.

Relleno sanitario mecanizado

Es una tecnología que se aplica para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen más de cincuenta (50) t/día de residuos sólidos. La característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias tales como el esparcido, compactación, suministro de tierra para cobertura y cubrimiento de los residuos, se realiza con equipos mecánicos tales como tractor de orugas, cargador frontal, volquete, motoniveladoras, etc. (MINAM, 2019)

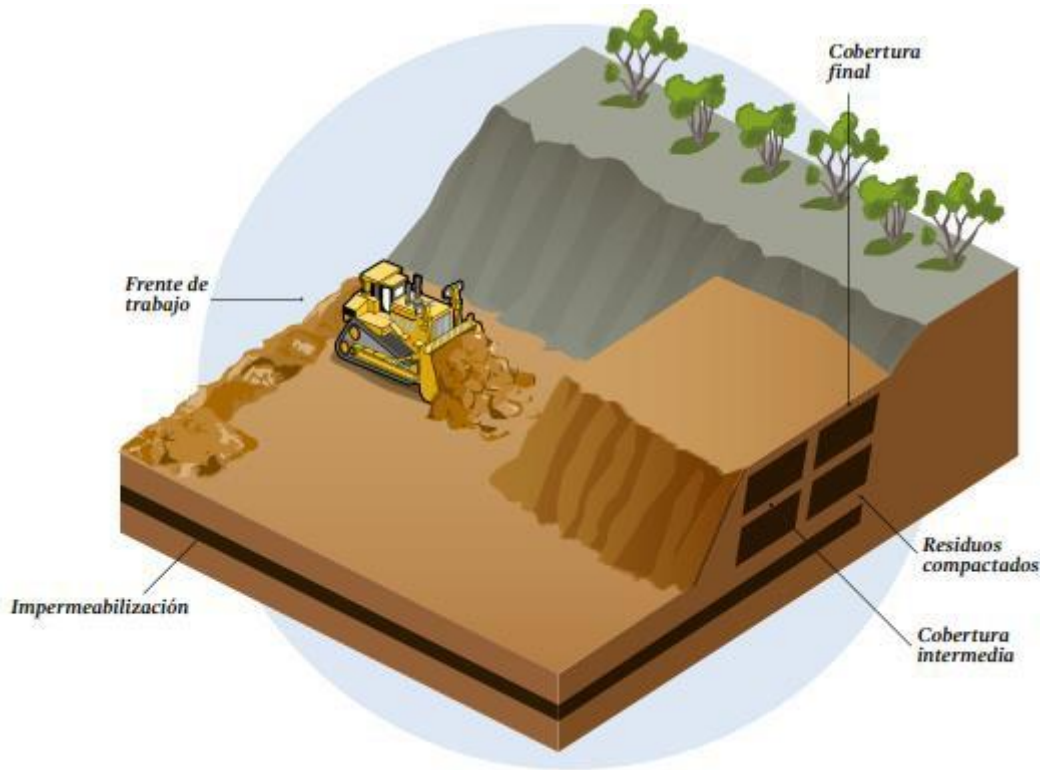


Figura 3: Relleno sanitario mecanizado.

Ventajas y desventajas de un relleno sanitario

En la siguiente tabla se describe porque un relleno sanitario es una necesidad de saneamiento básico.

Tabla 2

Resumen de las principales ventajas y limitaciones del relleno sanitario

| Ventajas | Limitaciones |
|---|--|
| La inversión generada en infraestructura de rellenos sanitarios es menor a las tecnologías de tratamiento de residuos | El crecimiento poblacional limita una ubicación periférica adecuada |
| El relleno sanitario acondiciona todo tipo de residuo sólido municipal | La administración municipal debe ser la adecuada, ya que si esta fallase el relleno sanitario no se manejaría de manera correcta |
| Las emisiones gaseosas producidas por la descomposición de los residuos pueden utilizarse como fuente de energía | Hay restricciones para el acondicionamiento de la infraestructura |
| La ubicación del relleno evitará costos adicionales | La población desinformada sobre los rellenos sanitarios |
| El relleno sanitario puede empezar a funcionar en poco tiempo | Los espacios a sus alrededores podrían disminuir su valor |
| Las zanjas de los rellenos se pueden adaptar para aumentar el volumen de los residuos sólidos dispuestos | No se recibe ningún tipo de residuo peligroso |

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Métodos de construcción del relleno sanitario

Los rellenos sanitarios (manual, semi-mecanizado o mecanizado) pueden construirse siguiendo los métodos de trinchera o zanja, área o la combinación de ambos métodos. La selección del método dependerá de las condiciones topográficas, características del suelo, nivel freático y disponibilidad de material de cobertura, condiciones climáticas de la zona, etc.

Método de trinchera o zanja

Consiste en realizar excavaciones de trincheras o zanjas con determinadas dimensiones y profundidades, en función a las características de cada zona. Para ello, se requiere emplear maquinaria pesada como excavadora o tractor de orugas. Los residuos sólidos se almacenan y se adecuan dentro de la trinchera o zanja, para luego ser compactados y cubiertos con material que cumpla las características establecidas. (MINAM, 2019)

Se utiliza en terrenos planos y ondulados, evitando terrenos con nivel freático alto o próximo a la superficie por el riesgo de contaminar el acuífero, así como suelos rocosos a fin evitar dificultades durante la excavación. En épocas de alta precipitación pluvial se debe tener controlado la escorrentía de aguas, para evitar que las zanjas sean inundadas. Para mitigar estas circunstancias, se debe construir canales perimetrales para captar las aguas de lluvia y luego desviarlas a fosos para un almacenamiento temporal. En casos extremos, se construye un techo sobre las zanjas o trincheras o de lo contrario bombear el agua acumulada. (MINAM, 2019)

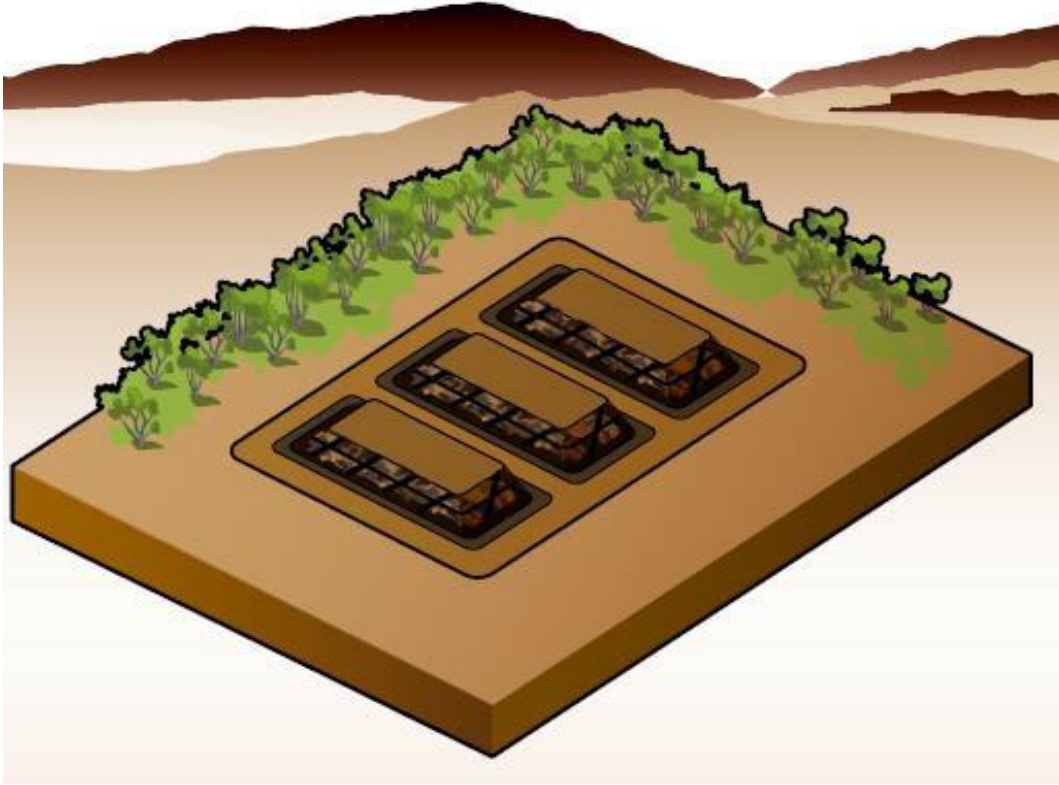


Figura 4: Método de trinchera.

Método de área

Consiste en depositar los residuos sólidos directamente sobre la superficie del terreno, previamente impermeabilizado, formando plataformas que alcanzarán alturas variables. En estos casos, se debe tener identificada la fuente de donde se extraerá la tierra para cobertura según las características de las plataformas proyectadas y volúmenes de residuos. Se utiliza en terrenos planos, donde no sea factible excavar zanjas o trincheras para disponer y confinar los residuos. El material de cobertura debe ser movilizadado de otros lugares o de ser posible se extrae de las laderas del terreno para evitar costos de transporte de material. La disposición final de los residuos se realiza apoyando las celdas en la

superficie del terreno acondicionado a la pendiente del terreno y mediante la conformación de taludes.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; es decir, los residuos se descargan en la base del talud, extendiéndose y apisonándose contra él, siendo recubiertos diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave a fin de evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba. (MINAM, 2019)

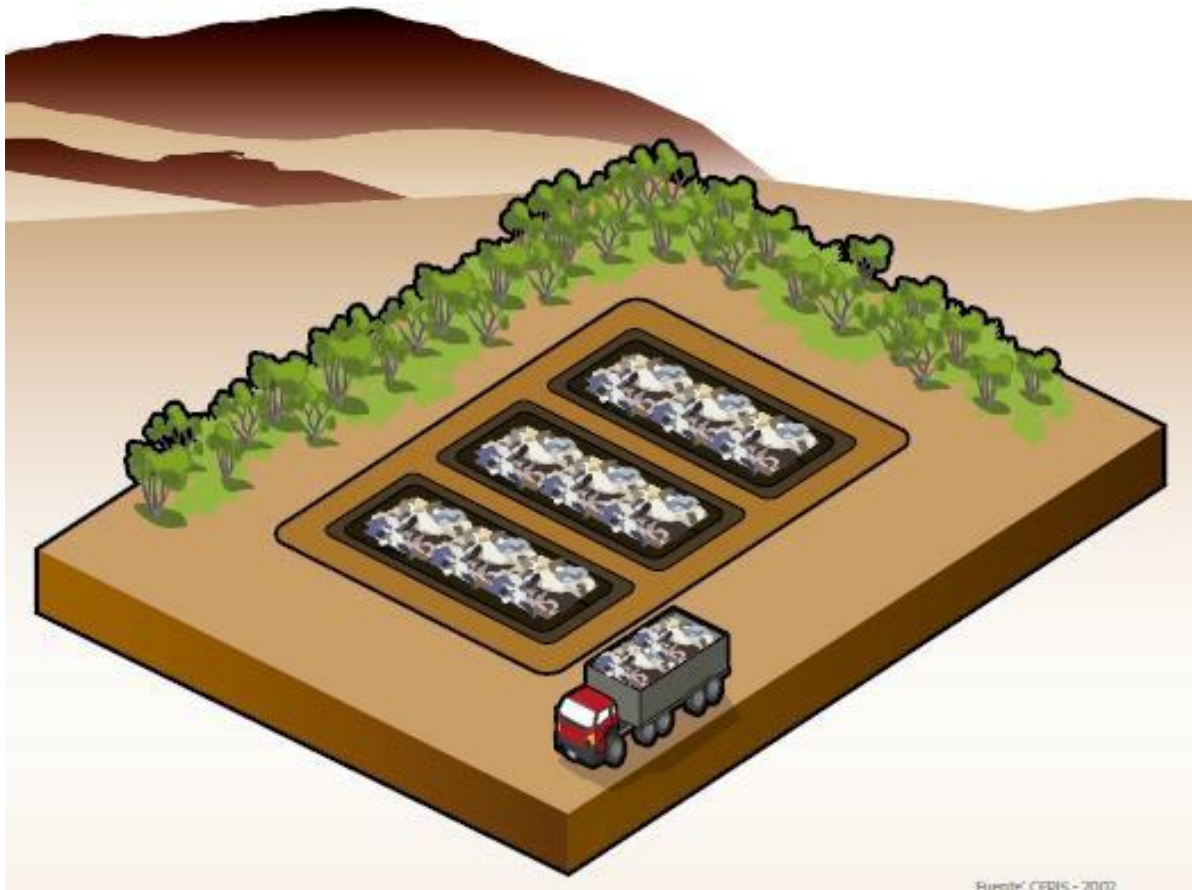


Figura 5: Método de área.

Combinación de ambos métodos

Los métodos de trinchera y área tienen técnicas similares de disposición final de residuos, por lo que pueden combinarse logrando un mejor aprovechamiento del terreno y del material de cobertura, y mayor rendimiento de la operación. La disposición final de los residuos abarcará inicialmente los volúmenes habilitados por debajo de la superficie original del suelo (método de trinchera), para luego ir creciendo verticalmente sobre la superficie original del suelo mediante la formación de sucesivas capas o plataformas (método de área) hasta alcanzar las alturas proyectadas. Desde el punto de vista del método de operación se considera: Método de trinchera hasta ocupar el volumen habilitado entre la superficie de la base del relleno sanitario y la coronación del dique perimetral o alcanzar la cota del borde superior de la excavación. Método de área, cuando se abarca el volumen proyectado desde la coronación del dique perimetral, hasta llegar la altura planificada para la disposición final de residuos. (MINAM, 2019)

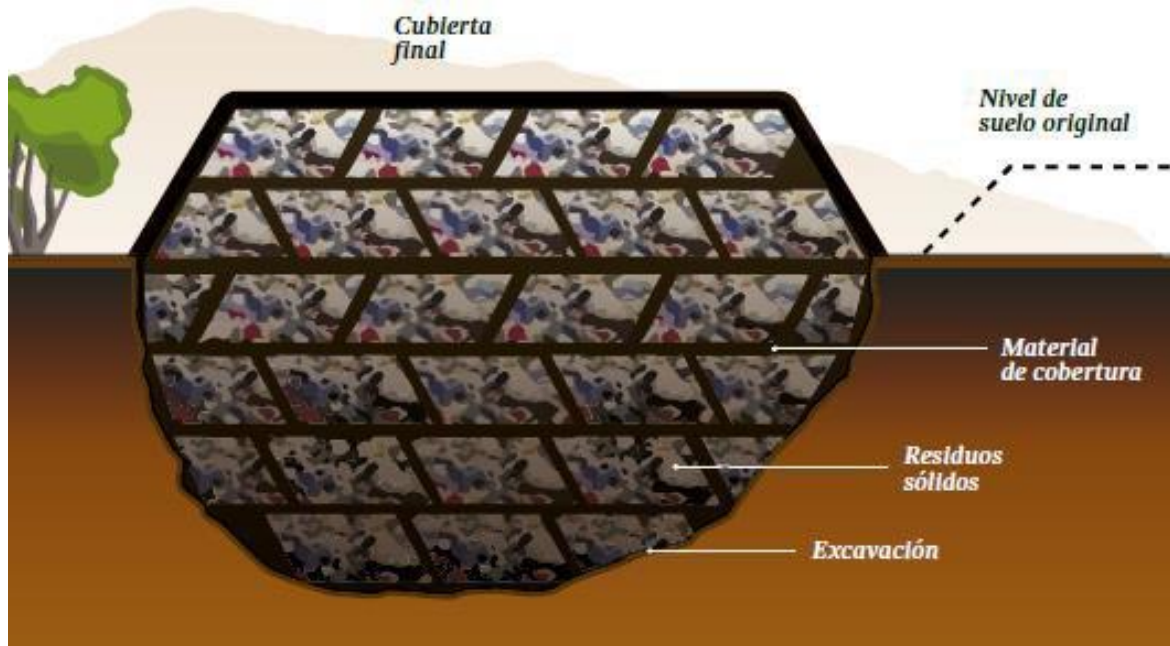


Figura 6: Combinación de ambos métodos.

Descripción de la línea base del distrito de Baños del Inca

a) Aspectos físico-geográficos.

El distrito de Baños del Inca se ubica en la zona sur del departamento de Cajamarca, situada a una altitud de 2667 metros sobre el nivel del mar, entre los paralelos 07°09'30" de latitud sur y los 78°27'48" de latitud oeste del meridiano de Greenwich. Es uno de los 16 distritos de la provincia de Cajamarca, creada por la Ley N° 13251 del 07 de setiembre de 1959. (Rojas Saavedra & Vázquez Mendoza, 2019)

La superficie territorial del distrito es de 276.40 Km², que representa el 9.28% de la provincia de Cajamarca ascendiente a 2979.78 Km², y el 0.83% del total departamental ascendente a 33317.54 Km². (Rojas Saavedra & Vázquez Mendoza, 2019)

b) Climatología

Baños del Inca por su altitud se encuentra en la región quechua (entre 2300- 3500 msnm) lo que determina que su clima sea templado, seco; soleado durante el día, pero frío durante la noche. Su temperatura media anual es de 18,6 °C siendo época de lluvias de diciembre a marzo, que coinciden con el cíclico fenómeno de El Niño, típico del norte tropical peruano. (Pareda, 2014)

c) Aspectos demográficos

De acuerdo con el último censo de población y de vivienda, realizado en nuestro país durante el año 2017 el distrito de Baños del Inca cuenta con 46,149 habitantes, de los cuales 25,851 representan el 56.016% pertenecen a la población rural y 20,298 representan el 43.984% de la población urbana. (INEI, 2017)

Tabla 3

Población urbana - rural

| Cajamarca, Cajamarca, Distrito: Los Baños del Inca – Urbano | | | |
|--|--------------|----------|--------------------|
| P. Sexo | Casos | % | Acumulado % |
| Hombre | 9786 | 48.21% | 48.21% |
| Mujer | 10512 | 51.79% | 100.00% |
| Total | 20298 | 100.00% | 100.00% |

Cajamarca, Cajamarca, Distrito: Los Baños del Inca – Rural

| P. Sexo | Casos | % | Acumulado % |
|----------------|--------------|----------|--------------------|
| Hombre | 12413 | 48.02% | 48.02% |
| Mujer | 13438 | 51.98% | 100.00% |
| Total | 20298 | 100.00% | 100.00% |

Fuente: (INEI, 2017)

- La composición de la población por sexo es equilibrada, siendo del sexo masculino 22,199 (48.10%) con relación al sexo femenino 23,950 (51.90%). (INEI, 2017)
- El 23.61% son personas menores de 15 años, mientras el 70,37% de la población tienen una edad mayor o igual a 15 años y menos a 64 años; además 6.02% de la población es mayor o igual a 65 años. (INEI, 2017)
- El distrito de los Baños del Inca, tiene un índice de pobreza de 37,7%, pobreza extrema de 11,2%, mortalidad infantil sobrepasa el 22,5 x mil nacidos, desnutrición crónica de 36.9%, analfabetismo 18,3%. (INEI, 2017)

d) Salud y educación

- **Salud**

Uno de los indicadores más usados para conocer la situación de salud de una población, así como las condiciones de vida es la tasa de mortalidad infantil, en el distrito de Baños del Inca, según estimaciones efectuadas hasta el año 2017, la tasa de mortalidad infantil sobrepasa el 22,5 fallecido x mil nacidos. (INEI, 2017)

Así mismo otro indicador importante para medir la situación de la niñez, así como para evaluar la seguridad alimentaria de una población es la tasa de desnutrición crónica de

los niños, el censo del año 2017 determinó un 36,9% de desnutrición crónica en niños. (INEI, 2017)

Con relación a la infraestructura de salud, el distrito de los baños del Inca cuenta con un centro de salud dirigido por médicos y enfermeras habiéndose establecido en este distrito las oficinas de micro red de salud que monitorean a varios distritos de la provincia de Cajamarca y de mismo modo a los centros poblados y anexos de su jurisdicción.

- **Educación**

La educación como índice de desarrollo en el Perú aún se encuentra en un proceso de crecimiento; este problema tiene varias causas, la principal es la pobre calidad técnica de los profesores, así como la deficiente actitud, otra de las causas principales es que la gran mayoría de la población rural no cree que debe ser prioritario el interés por el estudio, a esto se le suma la falta de equipamientos y medios que dificultan la educación.

En el distrito de Baños del Inca, la tasa de analfabetismo asciende a 18,3%; cabe mencionar que a comparación de años pasados se viene reduciendo notoriamente la disminución en el porcentaje de analfabetismo. (INEI, 2017)

- e) **Aspectos de vivienda**

- Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) que realizó el último censo poblacional en el año 2017 describe los siguientes datos.
- Los pobladores que viven en casas independientes son el 96.10%, mientras que los habitantes de departamentos son el 2.09%.
- El 50.8% de las viviendas cuentan con alumbrado público.
- El 21.5% de las viviendas cuentan con la red pública de desagüe dentro de la vivienda.

- El 53.1% de las viviendas cuentan con abastecimiento de agua dentro de la vivienda de la red pública.

Marco legal sobre disposición final de residuos sólidos

La Constitución Política del Perú del año 1993, en su art. 2, inciso 22 afirma que toda persona tiene derecho gozar de un ambiente equilibrado y en el art. 7 se refiere a la protección de su salud (Presidencia del Consejo de Ministros, 2013).

La ley N° 28611 Ley General del Ambiente en su art. 119 correspondientes al manejo de los residuos sólidos hace saber que la responsabilidad de la gestión y manejo de los residuos sólidos municipales recae en la municipalidad.

Decreto Legislativo N° 1278, Ley de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, no solo regula al ámbito interno, sino que concierne en cuanto a la importación y exportación de los mismos.

Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, el cual es una explicación a fondo de dicha ley donde se dan a conocer los criterios técnicos relacionados a infraestructura de disposición de residuos sólidos. Asimismo, en el decreto supremo, se indica el eficiente uso de los materiales, la regulación y gestión, manejo de los residuos sólidos, que se enfoca en reducirlos en donde se generan, además de darle valor material y también energética.

Decreto Legislativo N° 1501.- Decreto Legislativo que modifica el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de gestión integral de residuos sólidos donde modifica los artículos 9, 13, 16, 19, 23, 24, 28, 32, 34, 37, 52, 60, 65 y 70 del D.L. N°1278.

Ley N° 27446, ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, modificado por Decreto Legislativo N° 1078, y Decreto Legislativo N° 1013, siendo para la identificación, prevención, supervisión, control y corrección de los impactos ambientales negativos generados por proyectos de inversión.

Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública - Ley N° 27293 Creada con la finalidad de optimizar el uso de los Recursos Públicos destinados a los proyectos de inversión, en ese contexto se sitúan los proyectos de manejo de los residuos sólidos municipales, creando para tal efecto el Sistema Nacional de Inversión Pública, estableciendo además las fases a cumplir por todo proyecto de inversión pública; y su modificatoria dada por Decreto Legislativo N° 1091.

Justificación

En la actualidad los residuos sólidos como problemática medioambiental viene afectando a la totalidad de países, Perú no es ajeno a esta realidad; la gestión de residuos sólidos en el estado peruano es deficiente y se refleja en las provincias y distritos. Cajamarca es partícipe de esta realidad y del mismo modo el distrito de Baños del Inca. Las causas de la generación de los residuos sólidos son muchas, básicamente se debe al defectuoso manejo de estos, siendo las municipalidades los responsables directos, además de la mala disposición final, sin tener en cuenta las normativas legales y técnicas del país, convirtiéndose en un problema ambiental y de salud pública. La municipalidad distrital de Baños del Inca realiza manejo de los residuos sólidos, teniendo como disposición final el relleno sanitario perteneciente a la municipalidad provincial de Cajamarca, pero la creciente demanda demográfica y el desarrollo industrial han deteriorado el sistema de gestión de residuos sólidos del distrito, ante esta situación se cree conveniente un relleno sanitario, por tal razón se pretende diseñar un relleno sanitario para garantizar una adecuada disposición final de los residuos sólidos en el distrito de Baños del Inca, con la finalidad de mitigar la contaminación al medio, mejorar la recolección, separación, transporte y dar una disposición final adecuada a los residuos sólidos generados.

1.2. Formulación del problema

¿Se cuenta con una propuesta de diseño de relleno sanitario para el distrito de Baños del Inca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un diseño de relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos para el distrito de Baños del Inca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar los parámetros de caracterización de los residuos sólidos municipales (RSM) generación per cápita (GPC), densidad y composición.

Calcular la población, la generación per cápita y los residuos sólidos municipales acumulados hasta el año 2031 del distrito de Baños del Inca.

Estimar el volumen, área y vida útil del relleno sanitario.

Calcular la producción de lixiviados en función a la precipitación.

1.4. Hipótesis

Se cuenta con una propuesta viable de diseño de relleno sanitario para el distrito de Baños del Inca

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se seleccionó un diseño no experimental transversal de tipo aplicativo (Rojas, 2015), apoyándose en la finalidad del estudio de diseñar un relleno sanitario; pretendiendo brindar una solución al problema de contaminación ambiental y las brechas que existen en la disposición final de residuos sólidos.

Para conseguir datos exactos y cálculos precisos del diseño del relleno sanitario se utilizaron fórmulas, ecuaciones y parámetros facilitados por la ingeniería sanitaria y ambiental, descritos en la “Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales”. (MINAM, 2019)

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

El presente trabajo de acuerdo a su desarrollo no cuenta con una población y muestra correspondiente.

Materiales

Trabajo de gabinete:

- Laptop
- USB
- Calculadora
- Lapiceros
- Libros
- Artículos científicos
- Tesis

Softwares

- Microsoft office
- Infraworks
- Autocad
- Revit

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

El presente trabajo se adscribe a la investigación aplicada, en donde se revisó estudios internacionales y nacionales sobre el diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios.

Los instrumentos utilizados para dicho análisis de la información sobre el diseño de relleno sanitario están basados en la búsqueda de información como tesis, artículos científicos y sobre todo la guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales, publicado en abril del año 2019 bajo la dirección del Ministerio del Ambiente (MINAM).

Procesamiento y análisis de datos: para la información recolectada se utilizó diferentes tecnologías y programas existentes (Microsoft), Seguidamente se ha procesado la información obtenida de las fuentes secundarias mediante:

✓ Hojas de cálculo en Excel,

✓ Tablas

2.4. Procedimiento

2.4.1. Revisión bibliográfica: Consistió en la revisión sistemática de literatura, buscado fuentes informativas con carácter similar al presente tema; esencialmente se ha tomado de buscadores virtuales como: Scielo, Redalyc, Science, Dialnet, Google académico,

y páginas virtuales del Ministerio del Medio Ambiente (MINAM); de los cuales se han podido extraer artículos científicos, revistas científicas, guías, manuales y tesis, cuyo tenor expresan información sumamente importante para poder plasmar y clarificar el objetivo que se viene percibiendo en el presente estudio.

2.4.2. Procesamiento de datos: El procesamiento de datos estuvo basado bajo 2 guías, la primera es la “guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales”, publicado en abril del año 2019 bajo la dirección del Ministerio del Ambiente (MINAM) cuya información nos sirvió como base sólida para el presente documento; y la segunda, la cual fue, la “guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual-mecanizado”, publicado en abril del año 2011 bajo la dirección del Ministerio del Ambiente (MINAM), ayudándonos a detallar información teórica y técnica; es así que se procesaron todos los cálculos correspondientes para obtener el diseño del relleno sanitario.

Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. (MINAM, 2011)

Es un instrumento técnico legal, con el fin de mejorar la gestión y manejo de los residuos sólidos en nuestro país. El Ministerio del Ambiente (MINAM) con la participación de los diferentes sectores que conforman la “Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos”, propuso la ejecución de la Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual, con la finalidad de facilitar a las municipalidades y

empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos (EPS-RS), una herramienta ágil para la implementación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales en el País.

La guía brinda toda la información básica necesaria para que los técnicos municipales y proyectistas, consideren los aspectos técnicos, ambientales, legales, económicos y sociales necesarios para la implementación del proceso de disposición final. En ese sentido, es de utilidad para las autoridades y los actores sociales comprometidos en la mejora de la gestión de residuos sólidos en el país.

Guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales. (MINAM, 2019)

Es un instrumento técnico legal, con el fin de mejorar la gestión y manejo de los residuos sólidos en nuestro país. La producción de este mencionado instrumento fue parte del patrocinio de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, por medio del programa Contribución a las Metas Ambientales del Perú (ProAmbiente II), con finalidad de facilitar a las municipalidades y empresas prestadoras de servicios de residuos sólidos (EPS-RS) es una herramienta ágil para la implementación de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales en el País.

En materia de gestión para la disposición final de residuos sólidos, el Ministerio del Ambiente es el ente rector a nivel nacional que tiene por obligación controlar la coherencia, procedimientos y aprobar los proyectos de gestión de infraestructura para

la disposición final de residuos sólidos emitidos por los distintos niveles de gobierno, además de normar el manejo del mismo y proporcionar los términos de referencia para la formulación y evaluación del impacto ambiental de los proyectos de inversión pública la materia.

Por otra parte, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) comprometido con sus funciones asignadas supervisa, fiscaliza y sanciona a los titulares de infraestructura, sean estas municipalidades provinciales y/o distritales de acuerdo a sus competencias. Además, se encarga de tipificar conductas infractoras y aprobar la escala de sanciones, en el marco de las facultades de supervisión, fiscalización y sanción en materia de disposición final de residuos sólidos. (MINAM, 2019)

El Servicio de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE) atendiendo a sus funciones y competencias en materia de gestión de infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos evalúa y aprueba los estudios ambientales de proyectos de recurso estatal y privado si este mismo afecta a dos o más regiones haciendo caso a su impacto importante. (MINAM, 2019)

En marco de las obligaciones para con la gestión de infraestructura de disposición final de residuos sólidos los Gobiernos Regionales tienen la obligación de determinar las áreas que se destinarán para el montaje de la infraestructura solo en la situación de discrepancia entre dos o más municipalidades provinciales. (MINAM, 2019)

Las municipalidades provinciales tienen, de la misma forma, la obligación de autorizar los proyectos y los Instrumentos de Gestión Ambiental si dicho proyecto sé

gestionará por dos o más municipalidades. Es así que para las municipalidades distritales tienen la potestad de aprobar y emitir la licencia de funcionamiento de las infraestructuras de residuos del ámbito de su gestión en función al tiempo útil del mismo. (MINAM, 2019)

La guía en mención nos proporciona ampliamente toda la asesoría de primera base que se necesita en parámetros técnicos y proyectistas, cumpliendo permanente el peso de responsabilidad legal ambiental, legales, económicos y sociales, imprescindibles para el montaje de proyectos de disposición final de residuos sólidos.

A. Procedimientos previos a la construcción del relleno sanitario

Aprobaciones y autorizaciones

Es de conocimiento fundamental que cualquier proyecto de inversión como un relleno sanitario debe ir de la mano con su instrumento de gestión ambiental (IGA) aprobado por el SENACE, el gobierno regional o la municipalidad provincial, según corresponda, en el marco de las normas del SEIA. (MINAM, 2019)

Para el caso de nuestra propuesta de infraestructura de disposición final de residuos sólidos que está dirigida para la población del distrito de Baños del Inca según la Resolución Ministerial N° 016-2020-MINAM que especifica los Términos de Referencia para Proyectos de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales dicta que con una capacidad mayor de 20 t/día hasta 400 t/día le corresponde como clasificación anticipada en la categoría II Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado. (MINAM, 2019)

Además, el titular de dicho proyecto, acorde a las normas dictadas por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), está en la obligación de presentar los siguientes documentos adjuntados al IGA:

- a) Formulario o solicitud dirigida a la autoridad competente.
- b) Pago por derecho de tramitación.
- c) Un (01) ejemplar impreso del IGA.
- d) Copia simple del certificado de compatibilidad de uso del terreno.
- e) Copia simple del Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA).
- f) Informe de Evaluación de Riesgos de desastres elaborado por un profesional inscrito en el Registro Nacional de Evaluadores de Riesgo administrado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).
- g) Estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos del área de influencia del proyecto, suscritos por las/os profesionales responsables en dichas materias.

B. Criterios para el estudio de selección de área, EIA y proyecto

Factores y consideraciones para la construcción del relleno sanitario

Según la Guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019), se describen los aspectos técnicos más importantes para el estudio de selección de área.

Factores Generales

Ubicación del área para futuro relleno sanitario

El sitio para el relleno sanitario debe estar cercano al centro urbano al cual va a servir por razón del menor costo en la operación del transporte de residuos, sin embargo 1 Km es la menor distancia límite que debe existir entre la población del centro poblado más cercano, de acuerdo al Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos. (MINAM, 2019)

Material de Cobertura

Se recomienda la extracción de tierra para cobertura del mismo lugar que se hizo las excavaciones para el proyecto de esta manera se ahorra costos, además los suelos areno arcillosos y areno limosos o con granulometría bien distribuida son los óptimos. (MINAM, 2019)

Vida útil

La capacidad del área debe ser suficientemente grande para permitir su utilización durante un periodo igual o mayor de diez (10) años, a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación, instalación y las obras de infraestructura. (MINAM, 2019)

Vías de acceso

La longitud mayor de distanciamiento aproximada es de 30 km desde el núcleo de la localidad en el caso de rellenos sanitarios semi-mecanizados. (MINAM, 2019)

Topografía

El relleno puede diseñarse y operarse en cualquier tipo de topografía. Sin embargo, es preferible aquella en que se logre un mayor volumen aprovechable por hectárea. (MINAM, 2019)

Compatibilización con el uso de suelo y planes de expansión urbana

De igual manera la ubicación de una infraestructura de disposición final debe estar acorde a la proyección de expansión de la población, así como también debe compatibilizar con el uso de suelos, esto contemplado en el Plan de desarrollo urbano distrital o el plan de acondicionamiento territorial de los Gobiernos Provinciales. (MINAM, 2019)

Minimización y prevención de los impactos sociales y ambientales negativos

Para la evaluación de este aspecto técnico considerar las siguientes variables: tamaño del terreno, la capacidad útil del terreno, la situación sanitaria actual respecto a la presencia de pasivos ambientales como existencia de botaderos pasados o actuales, proximidad a las fuentes de abastecimiento de aguas superficiales, como a fuentes de aguas subsuperficiales, y antecedentes de conflictos sociales o quejas sociales por residuos sólidos en la zona. (MINAM, 2019)

Condiciones climáticas

Se trata de las precipitaciones, dirección de vientos, temperaturas y horas del sol durante el día. Es fundamental el manejo apropiado de estos factores, ya que podrían acelerar o no la descomposición de materia orgánica, oxidar los metales e incluso transportar los residuos sólidos fuera de los espacios de almacenamiento. (MINAM, 2019)

Geología

Vinculado con las propiedades mecánicas del suelo, es así que se prefiere suelos areno arcillosos o limosos que poseen mayor impermeabilidad. El proyecto no debe situarse en fallas geológicas. (MINAM, 2019)

Hidrogeología

Es primordial saber la presencia de corrientes de agua en el subsuelo, que tan profundos se encuentran, su curso y velocidad o flujo de la misma para evitar la posible contaminación por infiltraciones de lixiviado. (MINAM, 2019)

Hidrología superficial

Uno de los problemas latentes que presenta una infraestructura de disposición final de residuos sólidos es la de inundación, es por eso que el sector seleccionado tiene que ubicarse a una separación mayor de 500 metros de cuerpos de agua y poseer un sistema de drenaje. (MINAM, 2019)

Preservación del patrimonio arqueológico

El terreno no debe estar ubicado en un área perteneciente a una zona arqueológica de ser así es un criterio de restricción de ubicación. (MINAM, 2019)

Preservación de áreas naturales protegidas

El lugar posible a ubicarse el relleno sanitario no debe afectar un área natural protegida por el estado. En caso si existiese este sería un criterio de restricción de ubicación. (MINAM, 2019)

Factores Legales

Según la guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019), el área debe contar con el aspecto legal referido al saneamiento físico legal del terreno.

Saneamiento físico Legal del terreno

La propiedad de la zona designada al proyecto debe estar inscrito en la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP) a nombre de la municipalidad.

Factores Sociales

Según la Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual (MINAM, 2011), el área debe contar con el aspecto social referido al grado de aceptación respecto a una futura construcción del relleno sanitario.

Grado de aceptación respecto a una futura construcción del relleno sanitario.

El Grado de aceptación de las poblaciones aledañas a las áreas preseleccionadas, es el resultado de una evaluación social, que incluye como mínimo los siguientes pasos:

Primero, se identifica las poblaciones más cercanas a los sitios preseleccionados y que podían resultar como poblaciones directamente afectadas o indirectamente afectadas tanto en la fase de implementación como en la fase de funcionamiento del relleno sanitario.

Segundo, se determinan las características demográficas de cada una de las poblaciones identificadas.

En tercer lugar, se requiere conocer tanto las opiniones, creencias y actitudes, así como su interés y posibilidades de participación en el proyecto.

Sobre la base de los resultados del grado de aceptación de la población se recomienda diseñar y efectuar la campaña de educación e información a través de los medios de comunicación, instituciones tanto del estado como privadas, instituciones educativas y asociaciones sociales, que entre otros objetivos busque aclarar la confusión que existe por parte de la población, originada por la creencia que un relleno sanitario es un botadero a cielo abierto.

Restricciones de ubicación

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) en la Guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales refiere que los rellenos sanitarios no podrán ser ubicados en aquellos lugares que no cumplan las condiciones mínimas indicadas a continuación.

Seguridad aeroportuaria

El relleno sanitario no deberá estar ubicado a una distancia menor de 13 000 metros de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.

Fallas geológicas, áreas inestables

La zona escogida no debe presentar fallas geológicas, inestabilidad, posibilidad de deslizamientos ni ser propensa a inundaciones. (MINAM, 2019)

Zonas sísmicas

El relleno sanitario no debe ubicarse en zonas que sufran agrietamientos, desprendimientos, desplazamientos u otros movimientos de masas que pongan en riesgo la seguridad del personal y/o la operación del relleno. (MINAM, 2019)

Infraestructura existente

No se podrán seleccionar zonas que se encuentren dentro de las áreas de influencia de obras de infraestructura tales como embalses, represas, refinerías, obras hidroeléctricas, entre otros. (MINAM, 2019)

Plan urbano y proyecto de desarrollo regional o nacional

No se permitirá la ubicación de un relleno sanitario en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. Tampoco se podrán utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (centrales hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc.). (MINAM, 2019)

Tabla 4
Modelo de puntaje ponderado por parámetro de evaluación

| Íte | Criterios de Selección | DL N° 1278; DS N° 014- 2017 | Puntaje e A (*) | Ponde- rado | Puntaje e B (**) |
|--------------|---|-----------------------------------|--------------------|----------------|------------------------|
| 1 | Distancia a la población más cercana (m) | >500 | | 6 | |
| 2 | Distancia a granjas de crianza de animales (m) | >500 | | 6 | |
| 3 | Distancia a fuentes de aguas superficiales, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos (m) | >500 | | 6 | |
| 4 | Distancia a fallas geológicas | >500 | | 6 | |
| 5 | Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, entre otros) | | | 6 | |
| 6 | Infraestructuras existentes (embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otras) | | | 5 | |
| 7 | Distancia a aeropuerto o pistas de aterrizaje (m) | >13000 | | 5 | |
| 8 | Área del terreno (m ²) | | | 5 | |
| 9 | Vida útil | Mínimo 10 años | | 5 | |
| 10 | Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana) | | | 4 | |
| 11 | Pendiente del terreno (Topografía) | | | 4 | |
| 12 | Geología del suelo (Permeabilidad) | | | 4 | |
| 13 | Profundidad de la napa freática (m) | | | 4 | |
| 14 | Posibilidad del material de cobertura | | | 3 | |
| 15 | Cuenta con barrera sanitaria natural | | | 4 | |
| 16 | Accesibilidad al área (distancia a vía de acceso principal km) | | | 4 | |
| 17 | Uso actual del suelo y del área de influencia | | | 4 | |
| 18 | Opinión pública | | | 5 | |
| 19 | Área natural protegida por el Estado | | | 5 | |
| 20 | Área arqueológica | | | 5 | |
| 21 | Propiedad del terreno | | | 5 | |
| Total | | | | 100 | |

 Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales".
 (MINAM, 2019)

(*) Según los atributos o defectos de el o los terrenos en evaluación, se asignará un puntaje a cada criterio, este puntaje va desde regular (1 punto), moderado (3 puntos) y bueno (5 puntos). (MINAM, 2019)

(**) Luego se procede a multiplicar el puntaje asignado por el ponderado (B) para cada alternativa y con base a la suma de los valores obtenidos en cada criterio se obtiene el valor final para cada una de las alternativas, la alternativa seleccionada será la de mayor puntaje; además debe estar dentro del rango aceptable o aceptable de primera opción según el siguiente cuadro. (MINAM, 2019)

Tabla 5

Escala de calificación para el puntaje ponderado final

| Puntaje ponderado total | Clasificación |
|--------------------------------|---|
| 0-195 | Terreno no aceptable – Regular |
| 195-355 | Terreno aceptable – Moderado |
| 355 a más | Terreno aceptable de primera opción - Bueno |

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Informe de selección de área

Luego de realizar el proceso de selección, el área que obtuvo mayor puntaje será el priorizado como la mejor opción para la futura implementación del relleno sanitario.

El resultado debe documentarse mediante la elaboración de un “Informe de Selección de Área”, el mismo que debe contener la descripción general de las áreas

evaluadas y los resultados, no todas las áreas cumplen con el 100 % de las características ideales para la implementación de un relleno sanitario, sin embargo, se debe priorizar aquel que presente las mejores condiciones. (MINAM, 2019)

La descripción de las áreas evaluadas para la categorización de los terrenos debe contener información técnica referente a:

- Áreas de los terrenos.
- Propiedad del terreno.
- Descripción topográfica.
- Compatibilidad con el uso de suelo.
- Descripción general del tipo de suelo.
- Distancia a la población más cercana.
- Distancia a vías principales.
- Distancia a las áreas agrícolas y ganaderas o granjas.
- Descripción de la barrera sanitaria natural.
- Distancia a fuentes de abastecimiento de agua.
- Distancia a cursos superficiales de agua.
- Distancia a aeropuertos, áreas naturales protegidas por el estado, zonas arqueológicas, entre otros.

Estudio de Impacto Ambiental

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019) en la Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales

nos brinda una idea general de lo que debe abarcar el IGA, que de una manera amplia nos pone en conocimiento de la obligación en mención.

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es un Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) a través del cual, previa evaluación de la infraestructura proyectada y su entorno social y ambiental, se predice los posibles impactos (efectos positivos o negativos) que podría generar la implementación, operación, cierre y post cierre del proyecto de relleno sanitario, y propone entre otros, a través de un plan de manejo ambiental, las medidas para la eliminación, reducción y/o control de los impactos negativos a la salud y el ambiente.

El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2020) mediante la Resolución Ministerial N° 016-2020-MINAM aprobó los Términos de Referencia para proyectos de infraestructura de residuos sólidos con características comunes o similares en el marco de la Clasificación Anticipada contenida en el Anexo II del Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobada por Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, es así que dicho documento se encarga de detallar de acuerdo al proyecto y la capacidad del mismo a qué tipo de categoría clasifica es decir una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA sd) o un Estudio de Impacto Ambiental Detallado (EIA dt)

La elaboración de un DIA, EIA sd o EIA dt permitirá presentar una idea clara, concreta y global del proyecto de inversión que se vendrá a cabo, los impactos ambientales negativos y soluciones claras para mitigar las mismas. Así, este documento

debe ser expresado en ideas claras y sencillas para ser entendido por personas no expertas en materias técnicas.

El EIA de acuerdo a lo establecido en el artículo 10° de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) debe contener:

- Antecedentes de su área de influencia.
- La identificación y caracterización de los impactos ambientales durante todo el ciclo del proyecto (implementación, operación, cierre y post cierre).
- Plan de manejo ambiental o la definición de metas ambientales incluyendo según el caso, el plan de manejo, plan de contingencias, plan de compensación y el plan de cierre y post cierre.
- El plan de participación ciudadana de parte del mismo proponente.
- Los planes de seguimiento y control.

De acuerdo a lo descrito en artículo 84° del Reglamento de la Ley, el EIA para IDF deberá comprender el análisis técnico de los siguientes aspectos:

- a) Topografía
- b) Hidrogeología
- c) Suelos
- d) Geofísica
- e) Geología
- f) Meteorología
- g) Vulnerabilidad a desastres naturales
- h) Preservación de áreas naturales protegidas por Estado
- i) Preservación del patrimonio arqueológico

Del proyecto de relleno sanitario

El ministerio del ambiente bajo la Guía para el diseño, construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019), describe que el proyecto de infraestructura del relleno sanitario mecanizado, debe contener la descripción general del proyecto, ubicación, población a servir o beneficiarios, cantidad y tipo de residuos a manejar, entre otros, así como el diseño y especificaciones técnicas de los siguientes aspectos:

- Plano de ubicación.
- Plano perimétrico.
- Plano topográfico.
- Plano de distribución general de la infraestructura.
- Planos de infraestructura administrativa y de servicios.
- Planos de infraestructura para abastecimiento de agua.
- Planos de infraestructura para tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Planos de instalaciones eléctricas en infraestructura administrativa y de servicios.
- Planos de celdas y plataformas.
- Planos de celdas y plataformas formadas.
- Planos de impermeabilización de la base.
- Planos de infraestructura para manejo de lixiviados.
- Planos de infraestructura para manejo de gases.
- Planos de vía de acceso y vías de circulación internas.

- Plano de cerco perimetral, tranquera y letreros.
- Plano de ubicación de canteras para material de cobertura.
- Planos de infraestructura para manejo de aguas de escurrimiento pluvial.
- Plano de distribución de áreas para arborización e infraestructura para almacenamiento de agua para riego.
- Planos de señalización de tránsito, salud y seguridad ocupacional.

C. Diseño de infraestructura de relleno sanitario manual

Residuos aceptables e inaceptables en un relleno sanitario manual

La totalidad de los residuos sólidos generados por fuentes domiciliarias, comerciales, institucionales y agrícolas podrán disponerse en un relleno sanitario mecanizado con un riesgo mínimo de poner en peligro directa o indirectamente la salud humana y la calidad del ambiente.

Los residuos inaceptables deben identificarse en el plan de operación del relleno sanitario y se debe proporcionar una lista de estos residuos sólidos a los usuarios y clientes. La aceptabilidad de los tipos de residuos sólidos debe considerar el mínimo riesgo frente a la hidrogeología del lugar, las cantidades y características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, los métodos de disposición, los riesgos y efectos para el ambiente y la salud pública y sobre todo la seguridad del personal operativo.

Tabla 6
Tipo de residuos que representan riesgos y peligros potenciales a un relleno sanitario

| Tipo de residuos | Tipo general de riesgos o peligros | | | |
|--|------------------------------------|----------------------------|-----------|--------------|
| | Tóxicos | Explosivos/ Inflamables | Patógenos | Radioactivos |
| Residuos sólidos | | | | |
| Putrescibles | | | X | |
| Voluminosos y combustibles | | X | | |
| Voluminosos y no combustibles | X | X | | |
| Pequeños y combustibles | | X | | |
| Pequeños no combustibles | | X | | |
| Latas, botellas, cilindros no vaciados | X | X | X | X |
| Cilindros con gas | | X | | |
| Polvos | X | X | | |
| Residuos patógenos | X | | X | X |
| Lodos | X | | | |
| Escombros | X | X | | |
| Vehículos abandonados | | X | | |
| Residuos radiológicos | | | | X |
| Residuos líquidos | | | | |
| Aguas residuales | X | | X | |
| Aguas contaminadas | X | | | X |
| Compuestos orgánicos líquidos | X | X | X | |
| Breas | X | X | | |
| Lodos | X | | | |
| Residuos gaseosos | | | | |
| Olorosos | X | X | | |
| Partículas combustibles | | X | | |
| Vapores orgánicos | X | X | | |
| Gases ácidos | X | X | | |

Fuente: Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual. (MINAM, 2011)

Estudios básicos

Según la guía del MINAM, (2011) referida a rellenos sanitarios mecanizados nos indica que el diseño de un relleno sanitario mecanizado requiere de información base del área seleccionada, en detalle en los aspectos de tipo cantidad y composición de los residuos a manejar, la información meteorológica in situ o de la referencia representativa más cercana, así mismo es clave en el estudio topográfico que se defina el perfil natural del terreno, el coeficiente de permeabilidad y clase de suelo predominante sobre la base de mediciones u observaciones en campo y laboratorios especializados, en los párrafos que siguen a continuación se amplía la información de base mínima necesaria para un correcto diseño del relleno sanitario mecanizado:

Clase de residuos a manejar: Se refiere a la clase predominante de residuos que compone la generación de residuos de la ciudad, distrito o centro poblado a servir, la información es útil para definir el manejar en el relleno sanitario conforme a lo establecido en las normas vigentes en Perú; residuos domiciliarios, comerciales, de limpieza de espacios públicos y similares a estos, la información se obtiene a través de un estudio de caracterización de residuos. (MINAM, 2011)

Cantidad de residuos a manejar: Esta información se obtiene a través de un estudio de caracterización de residuos sólidos, y define la cantidad de generación per cápita de residuos, es decir la cantidad promedio de residuos que genera un habitante en un día. (MINAM, 2011)

Composición de residuos: Se refiere a la información porcentual de la composición física de los residuos respecto a ciertos tipos de materiales que tienen

capacidad de ser reaprovechados. Para obtener dichos resultados es necesario realizar un estudio de caracterización de residuos según metodologías establecidas en Perú o de referencia internacional. (MINAM, 2011)

Precipitación pluvial: Es recomendable una base de registro mensual de dos (02) años, con la finalidad de realizar la estimación de la generación de lixiviados y de ser posible precipitación máxima horaria para el diseño de los sistemas de recolección de aguas de escorrentía. (MINAM, 2011)

Temperatura ambiental: Es necesario, datos de temperatura de promedios máximos mensuales como mínimo de dos (02) años consecutivos. (MINAM, 2011)

Evapotranspiración: Es un parámetro que se emplea para la estimación de la generación de lixiviados, es recomendable una base de registro mensual de dos años. (MINAM, 2011)

Velocidad y dirección de vientos: Esta información es necesaria para la ubicación del área administrativa del proyecto, definir el uso cortinas de viento para el control de dispersión de olores y/o materiales o residuos volátiles. (MINAM, 2011)

Perfil topográfico del terreno: Permite determinar la capacidad de volumen útil del terreno para la disposición de residuos sólidos. El método de relleno a utilizar lo define el estudio de suelos, el perfil es básicamente para determinar la capacidad volumétrica del terreno. (MINAM, 2011)

Coefficiente de permeabilidad del suelo: Define las necesidades de impermeabilización artificial de la base y taludes del relleno sanitario, así como las bondades y/o deficiencias del uso del suelo del área como material de cobertura. Se

puede determinar en campo a través de mediciones de carga variable o en laboratorio de suelos previo análisis de muestras. (MINAM, 2011)

Tipo de suelo: Se determinará como mínimo a través de una evaluación in situ del suelo y mejor aún a través de muestras y análisis de laboratorio que determinen su clasificación, los resultados permiten definir el método de relleno a emplear; área, trinchera o mixto y realizar el mejor balance entre el material que se extrae y su uso dentro de las propias operaciones del relleno como material de cobertura. (MINAM, 2011)

Diseño del relleno sanitario manual

a) Selección del método

El método constructivo y la subsecuente operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque dependen también del tipo de suelo y de la profundidad del nivel freático. (MINAM, 2019)

Método de trinchera o zanja: Método utilizado generalmente en terrenos con pendientes planas y suelos no rocosos para su fácil excavación, donde el nivel freático se encuentra a buena profundidad. Este método consiste en la excavación de zanjas con determinadas dimensiones, de acuerdo al diseño y a lo descrito en el expediente técnico, empleando para ello maquinaria pesada como retroexcavadora o un tractor de orugas. (MINAM, 2019)

Método de área: Método aplicado en terrenos o áreas planas a semi planas, donde no sea factible excavar zanjas o trincheras para disponer y confinar los residuos. El suelo natural dependiendo de sus características y permeabilidad debe ser acondicionado y nivelado previo a la disposición de residuos. En estos casos, se debe

tener identificado la fuente de donde se extraerá el material de cobertura según las características y cantidad necesaria. (MINAM, 2019)

Combinación de ambos métodos: El método combinado se aplica en terrenos planos, donde se inicia la operación por el método de trinchera culminando por el de área. Sin embargo, solo es posible su aplicación en lugares donde se puede excavar sin afectar el nivel freático y el suelo cuenta con las características adecuadas para ser empleado como material de cobertura. (MINAM, 2019)

b) Cálculo de la cantidad de residuos a disponer

Para definir la cantidad de residuos sólidos que se proyecta disponer en el relleno sanitario manual, es necesario conocer información demográfica de la población a la cual servirá el proyecto, tales como número de habitantes y la tasa de crecimiento poblacional, así como la generación per cápita de residuos por habitante día. (MINAM, 2019)

Crecimiento Poblacional: El crecimiento poblacional se puede determinar a través de métodos matemáticos. Un ejemplo de su aplicación se muestra a continuación como un crecimiento geométrico, según la fórmula siguiente:

Ecuación 1:

Crecimiento poblacional

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

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = ($t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Generación per cápita de residuos: La información precisa de generación per cápita (G_{pc}) de residuos sólidos de una población, se obtiene como uno de los resultados del estudio de caracterización de residuos sólidos en la zona, la misma que estará en función a de las condiciones socioeconómicas y hábitos de consumo de la población. (MINAM, 2019)

Ecuación 2:

Generación per cápita

$$G_{pc}(\text{kg}/\text{hab}/\text{día}) = \text{CRR}(\text{kg})/\text{Pob}(\text{hab})$$

Donde:

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

CRR = Cantidad de residuos recolectados (kg)

Pob = Población (Nº Hab)

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales" (MINAM, 2019)

Por lo tanto, la cantidad diaria total de generación de residuos sólidos se estimará multiplicando la generación per cápita por el número de habitantes de la población. A partir de este dato se proyectará la cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno sanitario manual pudiendo ser diaria, mensual, anual y durante el tiempo de vida útil de la infraestructura.

Ecuación 3:

Fórmula de estimación de la cantidad de residuos

$$CRD_{RSM} = gpc(kg/hab/día) * Pob(N^{\circ}hab)$$

Donde:

Gpc = Generación per cápita (Kg/hab/día)

Pob = Población (N° Hab)

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Cálculo de la capacidad útil del relleno: Según el MINAM (2019), la capacidad útil del relleno se puede definir con precisión, solo después de contar con el diseño de la(s) celda(s) de disposición final, y luego de definir la proyección de su culminación según el método a emplear, sin embargo, preliminarmente, para los fines de tomar decisiones respecto a la capacidad y área o tamaño mínimo del terreno destinada a la infraestructura se puede realizar la estimación en función de:

- El total de residuos sólidos a disponer.
- La densidad de los residuos sólidos estabilizados en el relleno sanitario manual.
- La cantidad del material de cobertura (20-25%) del volumen compactado de residuos sólidos.
- La cantidad mínima de años que es posible opere un relleno sanitario en Perú.

VAR: Volumen anual de residuos, considera la cantidad de generación anual de residuos y la densidad mínima que debe alcanzar el residuo en el relleno sanitario.

VARD: Volumen anual de residuos dispuestos, considera la cantidad de generación anual de residuos a la densidad mínima que debe alcanzar el residuo en el relleno sanitario más el volumen del material de cobertura.

VMU: Es el volumen mínimo que sumarán las celdas de disposición final y sobre el cual el proyecto de relleno será factible de ser debidamente autorizado.

Además, se tiene que tener en cuenta la altura promedio del cuerpo de relleno que se piensa alcanzar por cualquiera de los métodos. Otro punto a tener en cuenta son los componentes de la infraestructura que deben estar incluidos en un área adicional, para vías de acceso, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre el 20 a 40% del área que se deberá rellenar

Cálculo de la vida útil: La capacidad del terreno debe ser lo suficiente como para permitir su utilización por un periodo mínimo de diez (10) años, a fin de que su vida útil se compatibilice con la gestión, los costos de implementación y las obras de infraestructura. (MINAM, 2019)

La vida útil estará en función la cantidad de residuos a disponer en el RSM, la densidad de compactación del relleno, el volumen del material de cobertura, la profundidad o altura del relleno y las áreas adicionales para la infraestructura y zonas de seguridad proyectadas. También depende del área del terreno. (MINAM, 2019)

Es el valor de tiempo que puede ser expresado en años, meses o días que se proyecta que el relleno podrá recibir residuos sólidos, en función de la capacidad útil de diseño. Para los fines del cálculo, es necesario entonces conocer la capacidad útil de diseño (CUD) y tener los valores de los volúmenes anuales de residuos dispuestos (VARD) para una proyección de varios años. (MINAM, 2019)

- **La capacidad útil de diseño:** Es la capacidad útil de diseño (CUD) se obtiene producto del volumen de diseño que se ha establecido para los fines del proyecto. Este tendrá que ser superior al volumen mínimo útil y la forma se definirá en función de la topografía del terreno y método de relleno a utilizar, habiéndose desarrollado varios métodos para el cálculo preciso de estos volúmenes. De los que podemos mencionar entre otros: Para volúmenes de gran longitud y poca anchura: a) el cálculo por la regla de Simpson, b) el cálculo por la regla del prismoide y c) el cálculo a partir de las áreas externas, así mismo para volúmenes de gran extensión (extensos en ambas direcciones): los métodos de la retícula y a partir de las curvas de nivel, son los más adecuados.

Tabla 7
Cálculo de la capacidad útil de diseño (CUD), método de las áreas externas

| Parámetro/Fórmula | Unidad de medida |
|--|-------------------------|
| Largo superior (ls) | m |
| Ancho superior (as) | m |
| Área superior (As) = ls * as | m ² |
| Altura = h | m |
| Talud de la trinchera (H) | |
| Talud de la trinchera (V) | |
| Largo inferior (li) = ls - 2 * Hh | m |
| Ancho inferior (ai) = as - * Hv | m |
| Área inferior (Ai) = li * ai | m ² |

Fuente: Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual. (MINAM, 2011)

El cálculo de la vida útil se define comparando el valor de la capacidad útil de diseño (CUD) con los años hacia los cuales más se aproxima y se afina el resultado mediante una regla de tres simples.

Cálculo de la generación de lixiviados: Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos. La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado. (MINAM, 2011)

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos, razón principal por lo que deben ser interceptadas y desviadas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación del agua subterránea. Para la estimación de la generación de lixiviados se cuenta con dos métodos sencillos, ampliamente aceptado para establecer un rango suficiente mente confiable respecto al volumen de lixiviados a manejar. (MINAM, 2011)

- **Método N° 01:** Este método utiliza el cuadro de producción de aguas lixiviadas, en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica DED - Deutscher Entwicklungsdienst, este considera que la cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de los siguientes factores: de La precipitación, el área del relleno, el modo de operación

(relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación) y el tipo de
basura.

Tabla 8

Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

| Tipo de relleno | Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación) | Producción de aguas lixiviadas (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 maquinaria liviana | 40 | 7.67 | 16.44 | 32.68 |
| Relleno compactado con maquinaria pesada | 25 | 4.79 | 10.27 | 20.55 |

Fuente: Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual. (MINAM, 2011)

- **Método N° 02:** Otro método para la estimación de la generación de lixiviados es el conocido como Método Suizo, que se resume en la ecuación:

Ecuación 4:

Método Suizo, estimación de generación de lixiviados

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K$$

Donde:

Q = Caudal medio de lixiviado (l/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31536000 seg/año)

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 ton/m³**, 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 ton/m³**, 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.

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

243. Elaboración de tesis: Se consideró el tema relacionado a nuestra carrera sobre la realidad problemática de hoy en día sobre el plan de disposición final en el manejo de los residuos sólidos.

244. Aspectos éticos: La propuesta de un relleno sanitario se sustenta en los principios de la ética, contando con la aceptación y participación de la Municipalidad Distrital de Baños del Inca, quienes fueron los responsables de proporcionarnos la información referida al estudio de caracterización de residuos sólidos municipales 2019-2023 desarrollada por el

área de Sub Gerencia de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano. Este trabajo realizado no es una copia, porque se ha revisado varias fuentes seguras y dichos resultados son de plena confiabilidad, debido a que se trabajó bajo la base de la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual del Ministerio del Ambiente del año 2011 y la guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales del año 2019. (MINAM, 2019)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Parámetros de caracterización de residuos sólidos municipales

3.1.1. Generación per cápita

Los datos del estudio de caracterización demostraron los siguientes resultados expresados en la siguiente tabla:

Tabla 9

Generación per cápita MDBI

| Distrito | GPC Domiciliaria | Generación Domiciliaria | Generación No Domiciliaria | Generación Municipal | GPC Municipal |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------|
| | (kg/hab/día) | (kg/día) | (kg/día) | (kg/día) | (kg/hab/día) |
| Los Baños del Inca | 0.448 | 21090.50 | 2994.28 | 24084.77 | 0.512 |

Fuente: Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Municipales, Baños del Inca 2019-2023

3.1.2. Densidad de residuos sólidos municipales

El estudio de caracterización del distrito de Baños del Inca (MDBI, 2019), obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 10

Densidad Promedio

| Parámetro | Densidad Promedio kg/m ³ | |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------|
| | Residuos sólidos domésticos | Residuos sólidos municipales |
| Densidad | 211.67 | 216.48 |

Fuente: Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Municipales, Baños del Inca 2019-2023

3.1.3. Composición de los residuos sólidos municipales

La constitución de residuos sólidos en el distrito de Baños del Inca según el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos realizado el año 2019, se da de la siguiente forma:

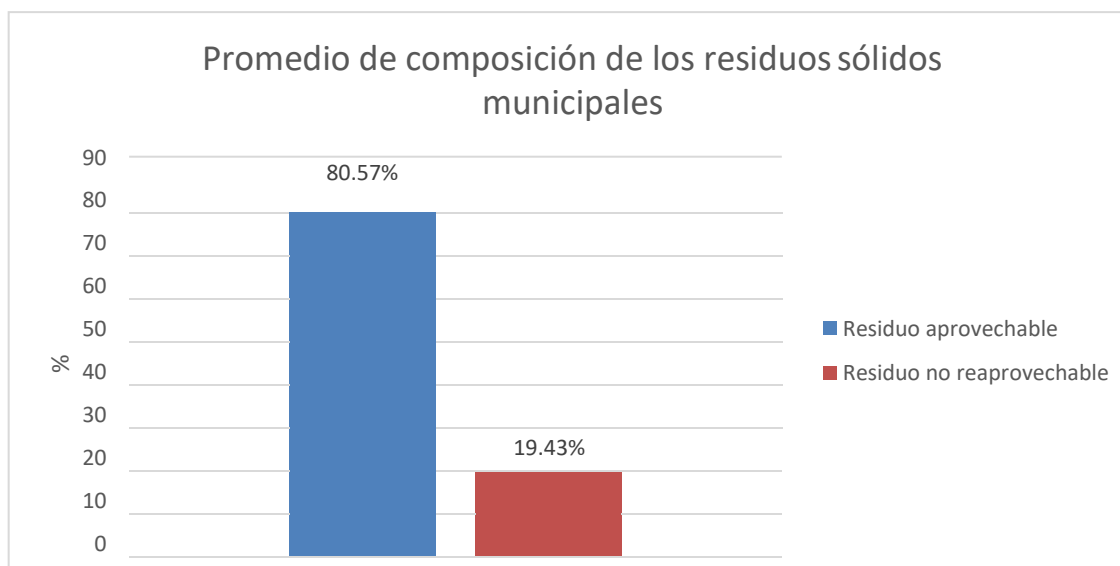


Figura 7: Promedio de composición de los residuos sólidos municipales.

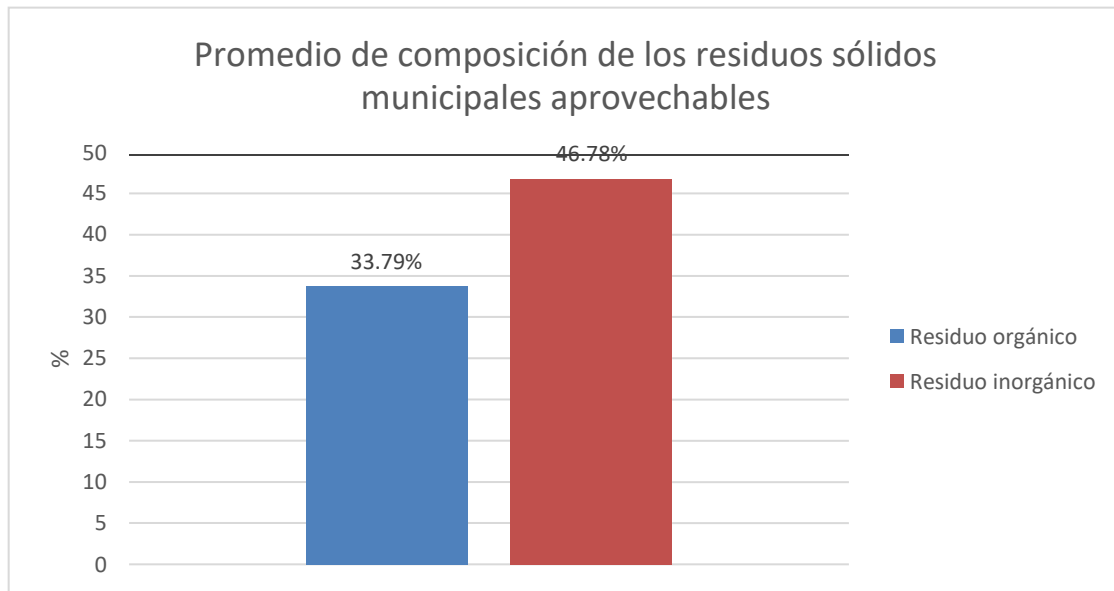


Figura 8: Promedio de composición de los residuos sólidos municipales aprovechables

Tabla 11

Composición física de residuos sólidos

| Tipo De Residuo Sólido |
|--|
| 1. Residuos aprovechables |
| 1.1. Residuos Orgánicos |
| Residuos de alimentos (restos de comida, cáscaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares) |
| Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos, grass, otros similares) |
| Otros orgánicos (estiércol de animales menores, huesos y similares) |
| 1.2. Residuos Inorgánicos |
| 1.2.1. Papel |
| Blanco |
| Periódico |
| Mixto (páginas de cuadernos, revistas, otros similares) |
| 1.2.2. Cartón |
| Blanco (liso y cartulina) |
| Marrón (Corrugado) |
| Mixto (tapas de cuaderno, revistas, otros similares) |
| 1.2.3. Vidrio |
| Transparente |
| Otros colores (marrón – ámbar, verde, azul, entre otros) |
| Otros (vidrio de ventana) |
| 1.2.4. Plástico |
| PET-Tereftalato de polietileno (1) (aceite y botellas de bebidas y agua, entre otros similares) |
| PEAD-Polietileno de alta densidad (2) (botellas de lácteos, detergente líquido, suavizante) |

PEBD -Polietileno de baja densidad (4) (empaques de alimentos, empaques de plástico de papel higiénico, empaques de detergente, empaque film)

PP-polipropileno (5) (balde, tinas, rafia, estuches negros de CD, tapas de bebidas, tapers)

PS -Poliestireno (6) (tapas cristalinas de Cds, micas, vasos de yogurt, cubetas de helado, envases de lavavajilla)

PVC-Policloruro de vinilo (3) (Tuberías de agua, desagüe y eléctricas)

1.2.5. Tetra brik (envases multicapa)

1.2.6. Metales

Latas-hojalata (latas de leche, atún, entre otros)

Acero

Fierro

Aluminio

Otros Metales

1.2.7. Textiles (telas)

1.2.8. Caucho, cuero, jebe

2. Residuos no reaprovechables

Bolsas plásticas de un solo uso

Residuos sanitarios (Papel higiénico/Pañales/toallas sanitarias, excretas de mascotas.)

Pilas

Tecnopor (poliestireno expandido)

Residuos inertes (tierra, piedras, cerámicos, ladrillos, entre otros)

Restos de medicamentos

Envolturas de snacks, galletas, caramelos, entre otros

Otros residuos no categorizados

Fuente: Estudio de caracterización de Residuos Sólidos Municipales, Baños del Inca 2019-2023

3.2. Cálculos de proyección de habitantes y residuos sólidos hasta el año 2031

3.2.1. Proyección de la población y generación per cápita

Se proyectó la población y la generación per cápita de residuos hasta el año 2031, contando como referencia los datos del censo de Población y vivienda realizado por el INEI en el año 2017, los resultados proyectados de la población de Baños del Inca para el año 2021 fueron 48,023 habitantes y una generación per cápita de 0.549. La población futura la calculamos de acuerdo a la ecuación N° 01.

$$P_f = P_a * (1 + T_{cp}\%)^n$$

$$P_{2020} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^3 = 47547 \text{ hab}$$

$$P_{2021} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^4 = 48023 \text{ hab}$$

$$P_{2022} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^5 = 48503 \text{ hab}$$

$$P_{2023} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^6 = 48988 \text{ hab}$$

$$P_{2024} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^7 = 49478 \text{ hab}$$

$$P_{2025} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^8 = 49973 \text{ hab}$$

$$P_{2026} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^9 = 50472 \text{ hab}$$

$$P_{2027} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^{10} = 50977 \text{ hab}$$

$$P_{2028} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^{11} = 51487 \text{ hab}$$

$$P_{2029} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^{12} = 52002 \text{ hab}$$

$$P_{2030} = P_{2017}(1 + r)^n = 46149 \text{ hab}(1 + 0.01)^{13} = 52522 \text{ hab}$$

Tabla 12*Proyección de la población y generación per cápita*

| Año | Población | GPC |
|------------|------------------|------------|
| 2019 | 47077 | 0.512 |
| 2020 | 47547 | 0.528 |
| 2021 | 48023 | 0.549 |
| 2022 | 48503 | 0.577 |
| 2023 | 48988 | 0.612 |
| 2024 | 49478 | 0.657 |
| 2025 | 49973 | 0.711 |
| 2026 | 50472 | 0.778 |
| 2027 | 50977 | 0.859 |
| 2028 | 51487 | 0.958 |
| 2029 | 52002 | 1.080 |
| 2030 | 52522 | 1.229 |
| 2031 | 53047 | 1.413 |

3.2.2. Proyección de la generación de residuos

Los datos calculados fueron los siguientes:

Tabla 13

Proyección de los residuos generados en el distrito de Baños del Inca

| Año | Población (Hab.) | GPC | Generación de Residuos (Kg/día) | Generación de Residuos (Ton/día) | Generación de Residuos (Ton/mes) | Generación de Residuos (Ton/año) |
|-------------|-----------------------------|------------|--|---|---|---|
| 2019 | 47077 | 0.512 | 24084.77 | 24.08 | 722.54 | 8670.52 |
| 2020 | 47547 | 0.528 | 25081.90 | 25.08 | 752.46 | 9029.49 |
| 2021 | 48023 | 0.549 | 26361.33 | 26.36 | 790.84 | 9490.08 |
| 2022 | 48503 | 0.577 | 27983.09 | 27.98 | 839.49 | 10073.91 |
| 2023 | 48988 | 0.612 | 30001.66 | 30.00 | 900.05 | 10800.60 |
| 2024 | 49478 | 0.657 | 32487.49 | 32.49 | 974.62 | 11695.50 |
| 2025 | 49973 | 0.711 | 35531.09 | 35.53 | 1065.93 | 12791.19 |
| 2026 | 50472 | 0.778 | 39248.43 | 39.25 | 1177.45 | 14129.44 |
| 2027 | 50977 | 0.859 | 43788.23 | 43.79 | 1313.65 | 15763.76 |
| 2028 | 51487 | 0.958 | 49341.68 | 49.34 | 1480.25 | 17763.00 |
| 2029 | 52002 | 1.080 | 56155.60 | 56.16 | 1684.67 | 20216.01 |
| 2030 | 52522 | 1.229 | 64549.39 | 64.55 | 1936.48 | 23237.78 |
| 2031 | 53047 | 1.413 | 74939.52 | 74.94 | 2248.19 | 26978.23 |

3.3. Volumen, área y vida útil del relleno sanitario

3.3.1. Volumen del relleno sanitario

El volumen del relleno sanitario está conformado por los desechos sólidos y el material de cobertura. Para nuestro caso se estima como material de cobertura el 25% del volumen de la basura.

Tabla 14

Volumen mínimo útil

| Años | Generación de residuos (Ton/año) | Densidad de residuos estabilizados (Ton/m³) | VAR: (m³/Año) | Cantidad de material de cobertura (%) | Cantidad de material de cobertura (m³/Año) | VARD (m³/año) | VARD ACUMULADO (m³) |
|-------------|---|---|---------------------------------|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| 2019 | 8670.52 | 1 | 8670.52 | 25% | 2167.63 | 10838.15 | 10838.15 |
| 2020 | 9029.49 | 1 | 9029.49 | 25% | 2257.37 | 11286.86 | 22125.00 |
| 2021 | 9490.08 | 1 | 9490.08 | 25% | 2372.52 | 11862.60 | 33987.60 |
| 2022 | 10073.91 | 1 | 10073.91 | 25% | 2518.48 | 12592.39 | 46579.99 |
| 2025 | 10800.60 | 1 | 10800.60 | 25% | 2700.15 | 13500.75 | 60080.74 |
| 2024 | 11695.50 | 1 | 11695.50 | 25% | 2923.87 | 14619.37 | 74700.11 |
| 2025 | 12791.19 | 1 | 12791.19 | 25% | 3197.80 | 15988.99 | 90689.10 |
| 2026 | 14129.44 | 1 | 14129.44 | 25% | 3532.36 | 17661.79 | 108350.90 |
| 2027 | 15763.76 | 1 | 15763.76 | 25% | 3940.94 | 19704.71 | 128055.60 |
| 2028 | 17763.00 | 1 | 17763.00 | 25% | 4440.75 | 22203.76 | 150259.36 |
| 2029 | 20216.01 | 1 | 20216.01 | 25% | 5054.00 | 25270.02 | 175529.38 |
| 2030 | 23237.78 | 1 | 23237.78 | 25% | 5809.44 | 29047.22 | 204576.60 |
| 2031 | 26978.23 | 1 | 26978.23 | 25% | 6744.56 | 33722.78 | 238299.38 |

VAR: Volumen anual de residuos, considera la cantidad de generación anual de residuos y la densidad mínima que debe alcanzar el residuo en el relleno sanitario

VARD: Volumen anual de residuos dispuestos, considera la cantidad de generación anual de residuos a la densidad mínima que debe alcanzar el residuo en el relleno sanitario más el volumen del material de cobertura

VMU: Es el volumen mínimo que sumarán las celdas de disposición final y sobre el cual el proyecto de relleno será factible de ser debidamente autorizado

3.3.2. Área del relleno sanitario

Área mínima requerida

El área útil mínimo necesario se obtendrá como resultado de la división entre el volumen mínimo útil (VMU) y el espesor o la altura promedio del cuerpo de relleno

Considerando una altura promedio: $H_p = 5 \text{ m.}$

Entonces el área mínima requerida será: $AMR = 47659.88 \text{ m}^2$

Áreas adicionales

Es necesario definir áreas adicionales, para ello se define un Factor (F) de aumento del área adicional requerida para las vías de acceso, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre el 20 a 40% del área que se deberá rellenar

Ecuación 5:

Áreas adicionales en función del 20% o 40%

$$AT = AMR + (F \times AMR)$$

Donde:

AT= Área total

AMR= Área mínima requerida

F= factor de adición

Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales".
(MINAM, 2019)

Entonces: $AT=AMR+(F*AMR)$

Si el factor $F=20\%$

$$AT=57191.85 \text{ m}^2$$



$$AT=66723.83 \text{ m}^2$$

Si el factor $F=40\%$

$$AT=66723.83 \text{ m}^2$$

Por consiguiente, el área total requerida a trabajar debe basarse con relación al área que se generan por la cantidad de celdas que se desea proponer, de este modo se tienen 2 áreas comprendidas entre los valores 57191.85 metros cuadrados y 66723.83 metros cuadrados, correspondiente al 20% como mínimo y 40% como máximo para áreas adicionales al relleno sanitario manual.

3.3.3. Vida útil

a) Capacidad útil de diseño

Es la capacidad útil de diseño (CUD) se obtiene producto del volumen de diseño que se ha establecido para los fines del proyecto. Este tendrá que ser superior al volumen mínimo útil y la forma se definirá en función de la topografía del terreno y método de relleno a utilizar.

Para esto se establece el desarrollo de una celda de 75 m. de ancho, 170 m de largo, 5 m de profundidad y un talud de corte de 1.5 m H en horizontal y 1.5 m V en vertical, aplicando el método de las áreas externas, se generarán dos (02) áreas, la primera que estará al nivel del suelo y llamaremos Área superior (As) y la segunda la que estará 5 m debajo del nivel del suelo y la llamaremos Área inferior (Ai), el cálculo en resumen consiste en obtener el promedio de estas dos áreas y multiplicarlo por la distancia que los separa (h).

Tabla 15
Cálculo de la capacidad útil del diseño

| PARÁMETRO / FÓRMULA | UNIDAD DE MEDIDA | CANTIDAD |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Largo Superior (Ls) | m | 170.00 |
| Ancho Superior (As) | m | 75.00 |
| Área Superior (As) = Ls * As | m ² | 12750.00 |
| Altura (h) | m | 5.00 |
| Talud de la trinchera (H) | | 1.50 |
| Talud de la trinchera (V) | | 1.50 |
| Largo inferior (li) = Ls-2*hV | m | 155.00 |
| Ancho Inferior (ai) = As - 2*hH | m | 60.00 |
| Área Inferior (Ai) li * ai | m ² | 9300.00 |
| VUD = (As+Ai)/2 * h | m ³ | 33075.00 |

Con el valor del VUD, se tiene que aproximar a un área donde el volumen acumulado sea no menor a 5 años de vida, en tal relación el volumen acumulado representará la cantidad de años de la capacidad del diseño propuesto, ante esto se tiene que proyectar como mínimo 5 trincheras del volumen del VUD (33075.00 m³).

Ante esto se tiene en cuenta: $CUD = 5 * VUD = 5 * (33075.00 \text{ m}^3) = 165375 \text{ m}^3$

Al valor encontrado del VUD se le suma el 25% de su volumen, obteniendo así 41343.75 m³ por cada trinchera, se tiene 5 trincheras entonces el CUD final resulta 206718.75 m³.

Tabla 16

Volumen anual de residuos dispuestos

| Años | Generación de residuos (Ton/año) | Residuos Compactados en el Relleno Sanitario (m³) | Residuos Compactados Acumulados (m³) | Material de Cobertura (m³) | VARD acumulado (m³) | Área total (m²) | Área total + Área administrativa (30%) (m²) |
|-------------|---|---|--|--|---------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 2019 | 8670.52 | 8670.52 | 8670.52 | 2167.63 | 10838.15 | 2167.63 | 3034.68 |
| 2020 | 9029.49 | 9029.49 | 17700.00 | 4425.00 | 22125.00 | 4425.00 | 6195.00 |
| 2021 | 9490.08 | 9490.08 | 27190.08 | 6797.52 | 33987.60 | 6797.52 | 9516.53 |
| 2022 | 10073.91 | 10073.91 | 37263.99 | 9316.00 | 46579.99 | 9316.00 | 13042.40 |
| 2023 | 10800.60 | 10800.60 | 48064.59 | 12016.15 | 60080.74 | 12016.15 | 16822.61 |
| 2024 | 11695.50 | 11695.50 | 59760.09 | 14940.02 | 74700.11 | 14940.02 | 20916.03 |
| 2025 | 12791.19 | 12791.19 | 72551.28 | 18137.82 | 90689.10 | 18137.82 | 25392.95 |
| 2026 | 14129.44 | 14129.44 | 86680.72 | 21670.18 | 108350.90 | 21670.18 | 30338.25 |
| 2027 | 15763.76 | 15763.76 | 102444.48 | 25611.12 | 128055.60 | 25611.12 | 35855.57 |
| 2028 | 17763.00 | 17763.00 | 120207.49 | 30051.87 | 150259.36 | 30051.87 | 42072.62 |
| 2029 | 20216.01 | 20216.01 | 140423.50 | 35105.88 | 175529.38 | 35105.88 | 49148.23 |
| 2030 | 23237.78 | 23237.78 | 163661.28 | 40915.32 | 204576.60 | 40915.32 | 57281.45 |
| 2031 | 26978.23 | 26978.23 | 190639.51 | 47659.88 | 238299.38 | 47659.88 | 66723.83 |

Como se describe en la tabla N° 09 de acuerdo a los valores resaltados el volumen de las 5 trincheras (206718.75 m³) está comprendido entre los años 2030 y 2031 del volumen que ocupará los residuos sólidos, así mismo estos valores representan la vida útil del relleno sanitario.



Figura 9: Modelamiento del relleno sanitario

3.4. Cálculo de la generación de lixiviados

Para el cálculo de la generación de lixiviados, como ya se mencionó anteriormente existen 2 métodos. El método a utilizar y el más propicio es el método N° 01 (desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica DED - Deutscher Entwicklungsdienst).

Tabla 17

Producción de aguas lixiviadas en función del porcentaje de la precipitación

| Precipitación Anual (mm) | Área del relleno (has) | Modo de operación (Tipo de relleno) | Tipo de residuo | Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación) | Producción de aguas lixiviadas (m³/año) | Producción de aguas lixiviadas (m³/día) |
|---------------------------------|-------------------------------|--|------------------------|---|---|---|
| 631.7 | 6.67 | Relleno Mecanizado | Doméstico e industrial | 25 | 10533.60 | 28.86 |

Tabla 18

Producción de aguas lixiviadas en función del factor de generación

| Modo de operación (tipo de relleno) | Precipitación Anual (mm) | Factor de generación (m³/ha*día) | Área de relleno | Producción de aguas lixiviadas (m³/año) | Producción de aguas lixiviadas (m³/día) |
|--|---------------------------------|--|------------------------|---|---|
| Relleno Mecanizado | 631.7 | 4.79 | 6.67 | 11661.49 | 31.95 |

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Encontramos antecedentes como Flores & Cubas (2020) que describen una investigación que tuvo la finalidad de diseñar un relleno sanitario manual, proyectaron la vida útil del relleno a 15 años acumulando así un total de 46239.122 m³ de residuos sólidos; así mismo Churata, (2017) dimensionó un relleno sanitario para el distrito de Sicuani en la región de Cusco, proyectándolo 25 años obteniendo así un acumulado de 377496.447 toneladas de residuos.

Los antecedentes descritos cumplen con las especificaciones técnicas que norma la guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales, si bien la investigación que realizó Flores & Cubas (2020) es para un relleno sanitario manual y el segundo estudio de Churata, (2017) se detalla para un relleno sanitario mecanizado, ambos superan los 10 años como mínimo que deben de tener las infraestructuras para disposición final de residuos sólidos en el sentido de vida útil.

La guía describe 3 tipos de rellenos sanitarios; manual, semi mecanizado, mecanizado, todos deben cumplir con las especificaciones técnicas, es por eso que a criterio y con los cálculos obtenidos, la presente investigación se trabaja para un relleno sanitario mecanizado, debido a que para el año 2029 la generación de residuos superará las 50 toneladas.

Cajamarca como provincia debe dar prioridad al desarrollo de proyectos en marco al Decreto Legislativo N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, enfocados en la problemática de la falta de infraestructuras para la adecuada disposición de residuos sólidos es así que es un motivo oportuno para fomentar proyector de rellenos sanitario

manuales en los diferentes distritos que componen la provincia de Cajamarca y más aún dar la prioridad a aquellos distritos donde la demanda demográfica se da de manera considerable.

4.2 Conclusiones

La propuesta del relleno sanitario es factible considerando todos los criterios, normas legales y normas técnicas que describen las guías normadas por el Ministerio del Ambiente.

Se propuso el diseño de un relleno sanitario para el distrito de Baños del Inca en función a la "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019)", el cual debe tener un área aproximada 6.19 hectáreas, para los 10 años de vida útil. Basándose en la proyección de la población que para el año 2031 se tendrá 53047 habitantes y una generación per cápita de 1.413.

Se verificó los parámetros de caracterización de los residuos sólidos municipales siendo una generación per cápita de 0.512 y 0.448 de generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios. Del mismo modo se validó el cálculo de la densidad de los residuos sólidos domiciliarios y municipales, obteniendo valores de 211.67 kg/m^3 y 216.48 kg/m^3 correspondientemente.

Se obtuvo el área mínima requerida siendo esta de 47659.88 m^2 , por consiguiente, con el dato del área mínima requerida se procedió a calcular el área adicional para las infraestructuras necesarias con relación al 20 y 40 % según la norma descrita en la guía, obteniendo dos áreas comprendidas entre los valores como mínimo 57191.85 metros cuadrados (20%) y como área máxima 66723.83 metros cuadrados (40%). Así mismo se calculó el volumen acumulado hasta el año 2031 siendo un valor de 238299.38 m^3 . Por otro lado, la vida útil calculada del relleno sanitario debe ser no menor a 10 años.

Se calculó la producción de aguas lixiviadas en función al porcentaje de la precipitación resultando así $28.86 \text{ m}^3/\text{día}$ y $10533.60 \text{ m}^3/\text{año}$, del mismo modo se obtuvo la

producción de aguas lixiviadas en función al factor de generación $31.95 \text{ m}^3/\text{día}$ y $11661.49 \text{ m}^3/\text{año}$.

REFERENCIAS

- Acurio, G., Rossin, A., Paulo, T., & Francisco, Z. (2014). Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en America Latina y el Caribe. *Croquis*, 2(34), 130.
- Churata, R. (2017). *Determinación y dimensionamiento de relleno sanitario para el distrito de sicuani, Cusco, 2016*. 89.
- Congreso de la República. (2017). *Decreto Legislativo N° 1278*. 1–35.
- Díaz, L., & Vallejo, A. (2017). *Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica, Bogotá, Colombia*. 1–83.
- Flores, A., & Cubas, S. (2020). *Diseño de un Relleno Sanitario manual en el distrito de Jepelacio, San Martín*. 187.
- Gonzáles, J. A. (2016). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*, 22, 101–119.
<https://revistas.ucp.edu.co/index.php/gestionyregion/article/download/149/146>
- Hernández-Berriel, M. del C., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2016). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América latina y el caribe. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(1), 11–22.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02>
- Hernández, S., & Corredor, L. (2016). Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*, 15(1), 57–76.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041529>
- INEI. (2017). *Censo Poblacional, Cajamarca 2017*. 228.
- MDBI. (2019). *Estudio de caracterización municipalidad distrital de Baños del INCA* (p. 316).

- Merchán, A., & Pomavilla, M. (2019). *Diagnóstico ambiental de disposición final de desechos sólidos comunes y sanitarios de Camilo Ponce Enríquez y diseño del relleno sanitario*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15023>
- MINAM. (2011). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. 87. <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>
- MINAM. (2015). *Guía metodológica para el desarrollo del plan de manejo de residuos sólidos*. 1, 88.
- MINAM. (2017). Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024 | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024*, 80. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-nacional-gestion-integral-residuos-solidos-2016-2024>
- MINAM. (2019a). Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 01(01), 1689–1699.
- MINAM. (2019b). *Guía para elaborar el plan provincial de gestión integral de residuos sólidos municipales*. 84.
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Guía para la caracterización de residuos municipales*.
- OEFA. (2016). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. 235.
https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=16983
- Pareda, C. V. (2014). “Universidad Nacional De Cajamarca ,,. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009>
- Pari, S. (2016). *Propuesta de gestión de residuos sólidos mediante un relleno sanitario manual, para el municipio de Taraco*. 175.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4613/Pari_Ychuta_Susana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rojas, M. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *Revista Electronica de Veterinaria*, 16(1), 1–14.
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet2015Volumen16Nº01->
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010115.html>

Rojas Saavedra, G. E., & Vázquez Mendoza, G. E. (2019). *Facultad de Ciencias Empresariales y Administrativas Carrera Profesional de Contabilidad y Finanzas Facultad de Ciencias Empresariales y Administrativas Carrera Profesional de Contabilidad y Finanzas Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requeri.*
[http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1092/Tesis Rojas-Vásquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/1092/Tesis_Rojas-Vásquez.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ruiz, J., & Unapanta, V. (2015). *Diseño de un relleno sanitario manual para el recinto “Cristóbal Colón”- provincia de Esmeraldas, 2015.* 128.

Tejada, A. (2018). *Diseño Del Relleno Sanitario Para El Distrito De San José, Provincia De Pacasmayo – La Libertad.* *Universidad César Vallejo.*

Trajano, K. (2016). *“Diseño de un relleno sanitario de pequeño tamaño”.* 97.

ANEXOS

Anexo N° 01. Temperatura promedio mínima y máxima, humedad relativa y precipitación,
Cajamarca 2020.

| Año 2020 | | | | |
|------------------|---|---|--|-------------------------------|
| Mes | Temperatura máxima promedio (°C) | Temperatura mínima promedio (°C) | Humedad relativa promedio (%) | Precipitación (mm) |
| Enero | 22.09 | 9.65 | 63.16 | 38.20 |
| Febrero | 23.04 | 10.93 | 67.44 | 31.20 |
| Marzo | 23.02 | 11.50 | 67.59 | 172.70 |
| Abril | 21.69 | 9.72 | 67.17 | 78.10 |
| Mayo | 21.84 | 8.21 | 66.90 | 37.40 |
| Junio | 22.19 | 7.34 | 57.67 | 9.10 |
| Julio | 22.36 | 6.49 | 61.04 | 27.60 |
| Agosto | 23.76 | 5.78 | 54.19 | 0.70 |
| Setiembre | 22.46 | 7.20 | 55.21 | 9.70 |
| Octubre | 22.39 | 8.08 | 51.53 | 33.20 |
| Noviembre | 23.34 | 8.23 | 60.49 | 53.20 |
| Diciembre | 20.88 | 9.88 | 75.62 | 140.60 |

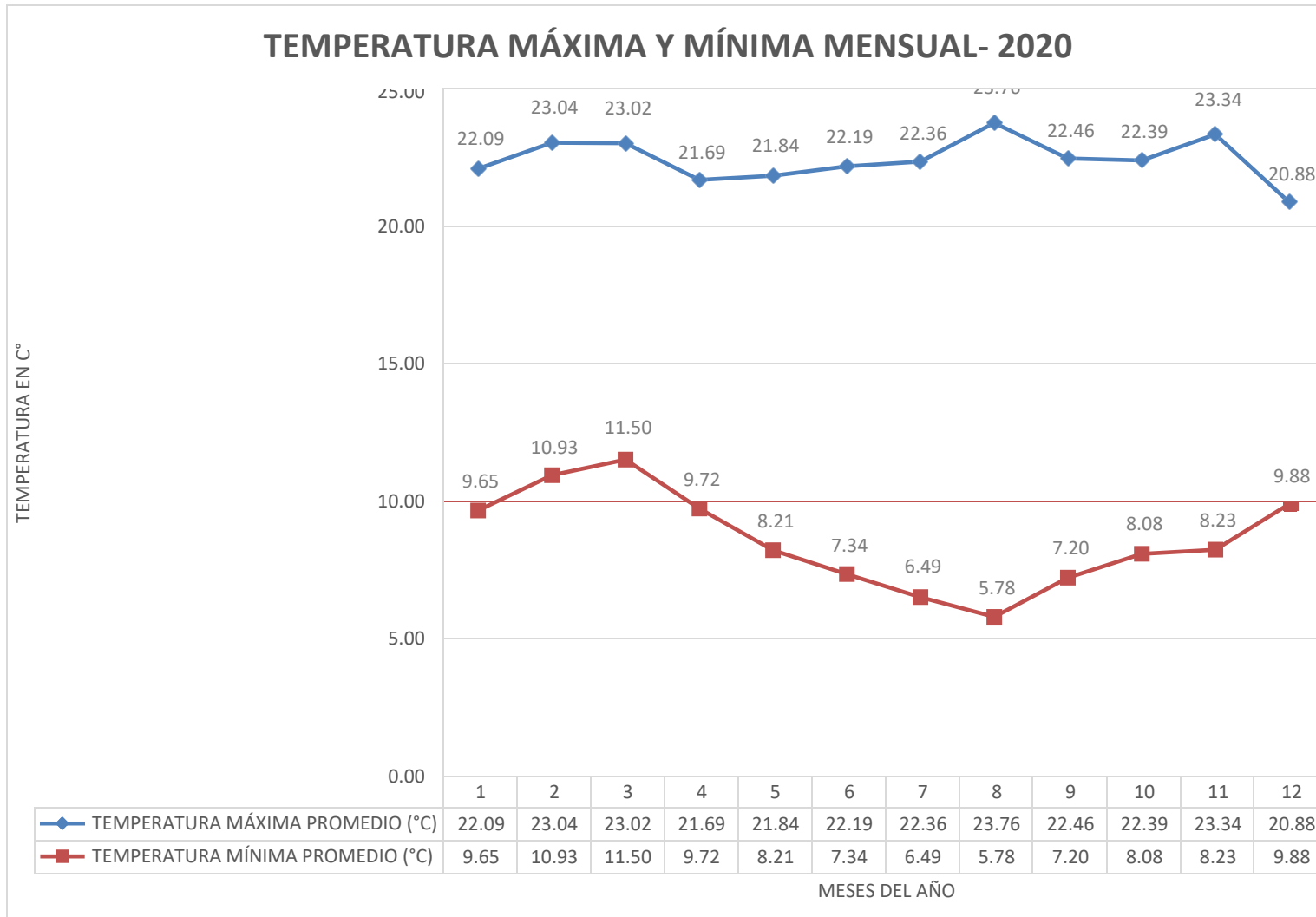
Fuente: SENAMHI

Anexo N° 02. Datos meteorológicos, Cajamarca 2020.

| | | |
|---|-----------|--------|
| TEMPERATURA MÁS ELEVADA DEL AÑO 2020 (°C) | AGOSTO | 23.76 |
| TEMPERATURA MÁS BAJA DEL AÑO 2020 (°C) | AGOSTO | 5.78 |
| HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO MAS ELEVADA DEL AÑO 2020 | DICIEMBRE | 75.62% |
| PRECIPITACIÓN ACUMULADA ANUAL | AÑO 2020 | 631.70 |

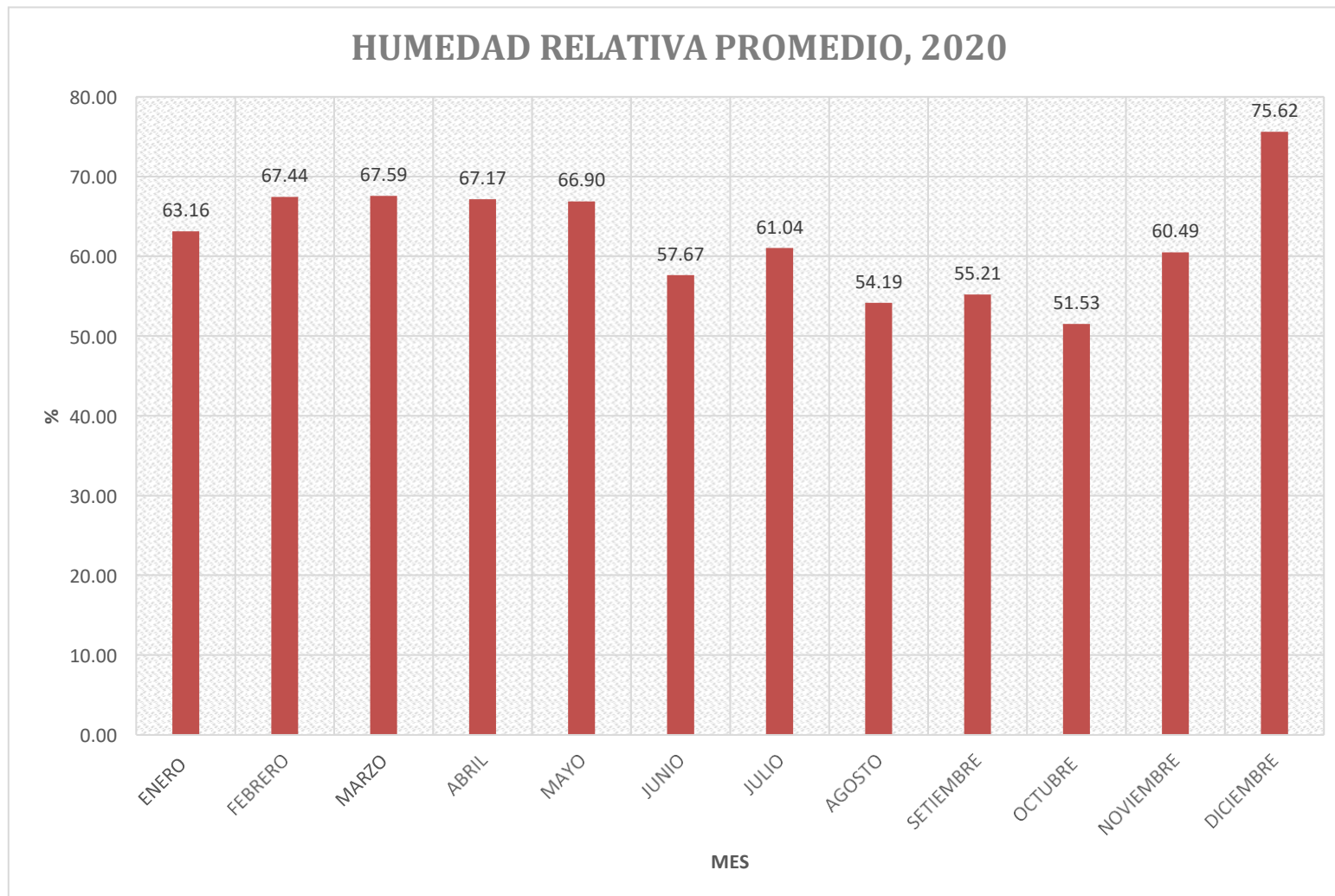
Fuente: SENAMHI

Anexo N° 03. Temperatura máxima y mínima mensual, Cajamarca 2020.



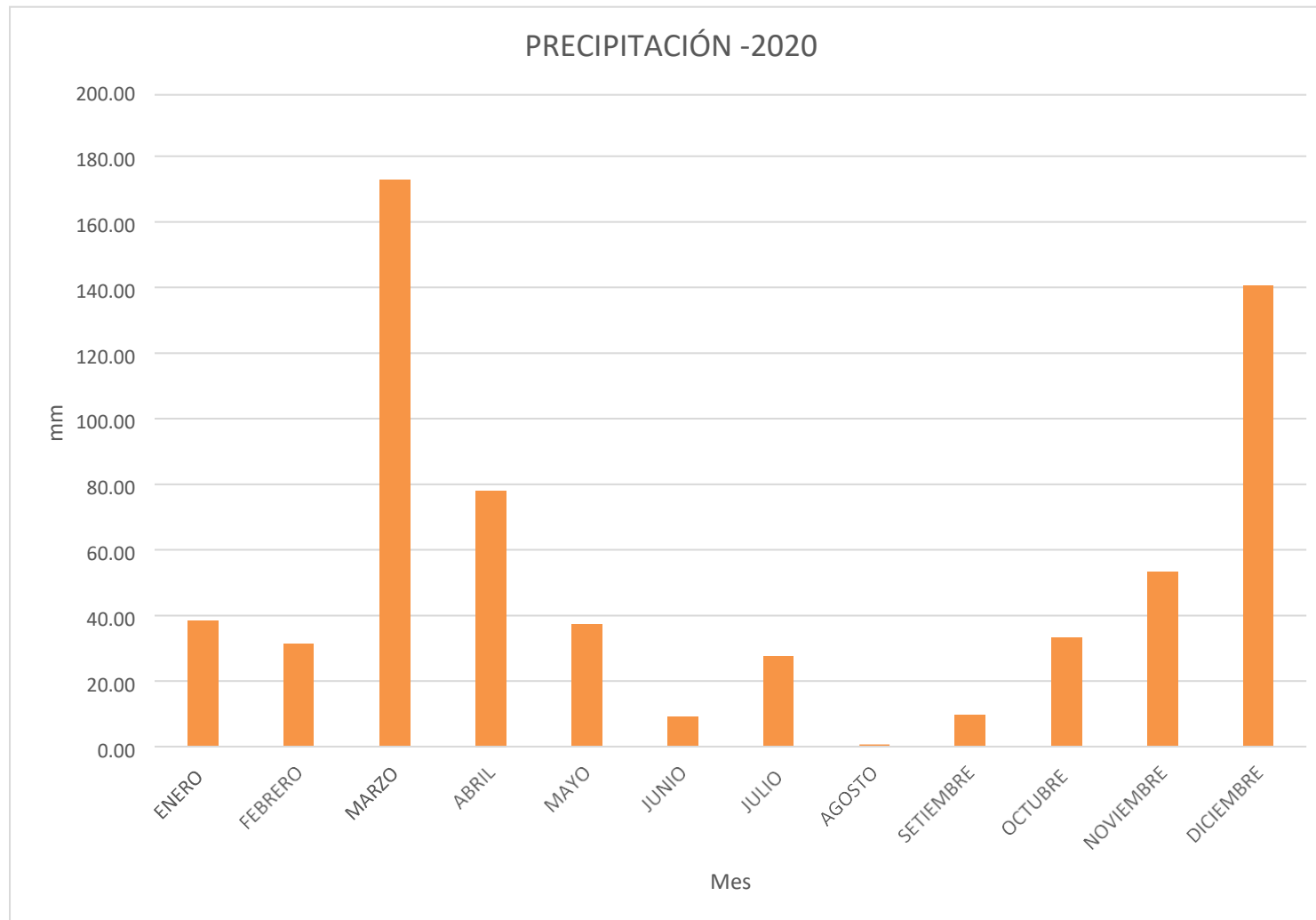
Fuente: SENAMHI

Anexo N° 04. Humedad relativa promedio, Cajamarca 2020.



Fuente: SENAMHI

Anexo N° 05. Gráfico de precipitación, Cajamarca 2020



Fuente: SENAMHI

Anexo N° 06. Modelamiento propuesto del relleno sanitario.



Fuente: Sanchez, L; Perez, A

Anexo N° 07. Modelamiento propuesto del relleno sanitario.

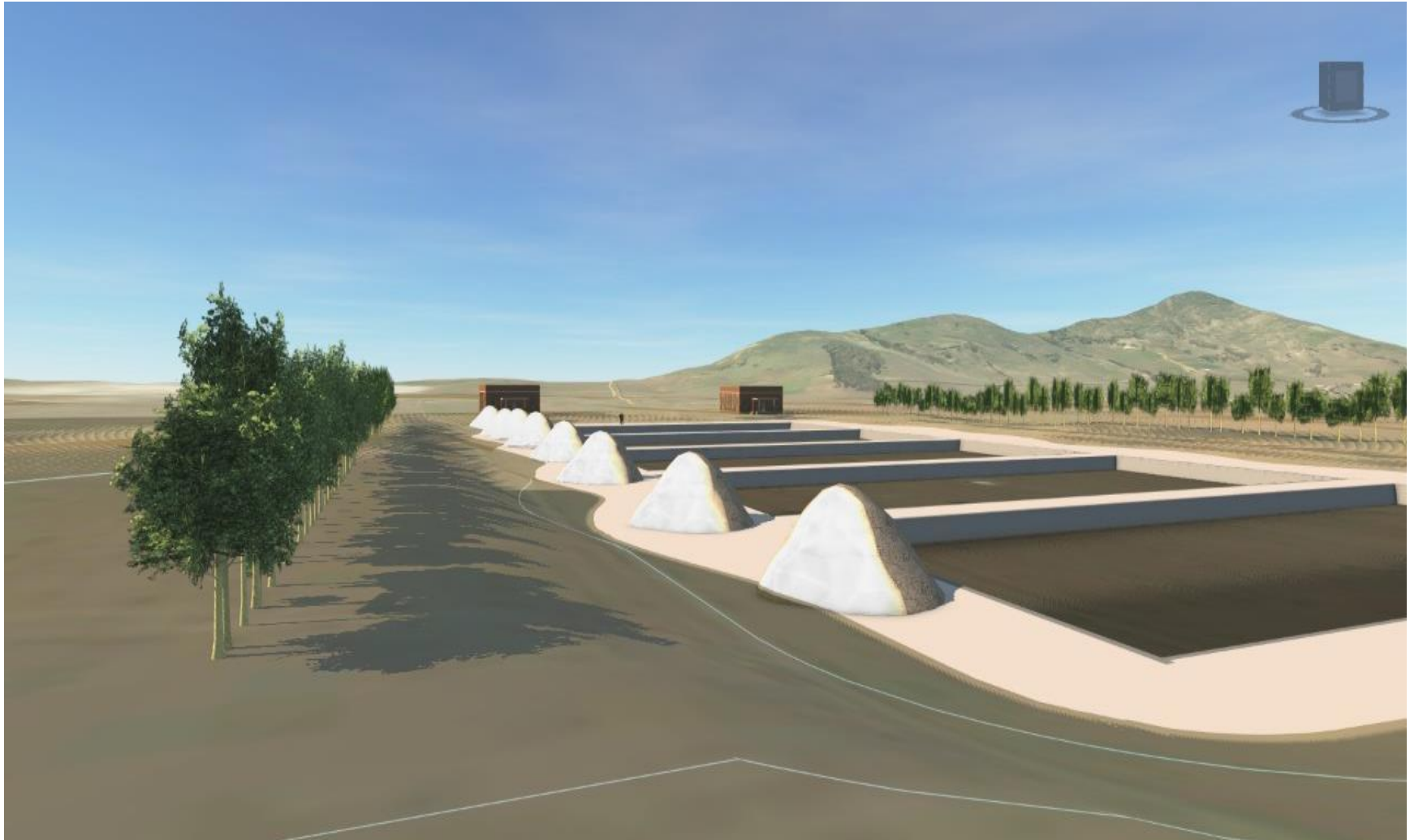


Anexo N° 08. Modelamiento propuesto del relleno sanitario.



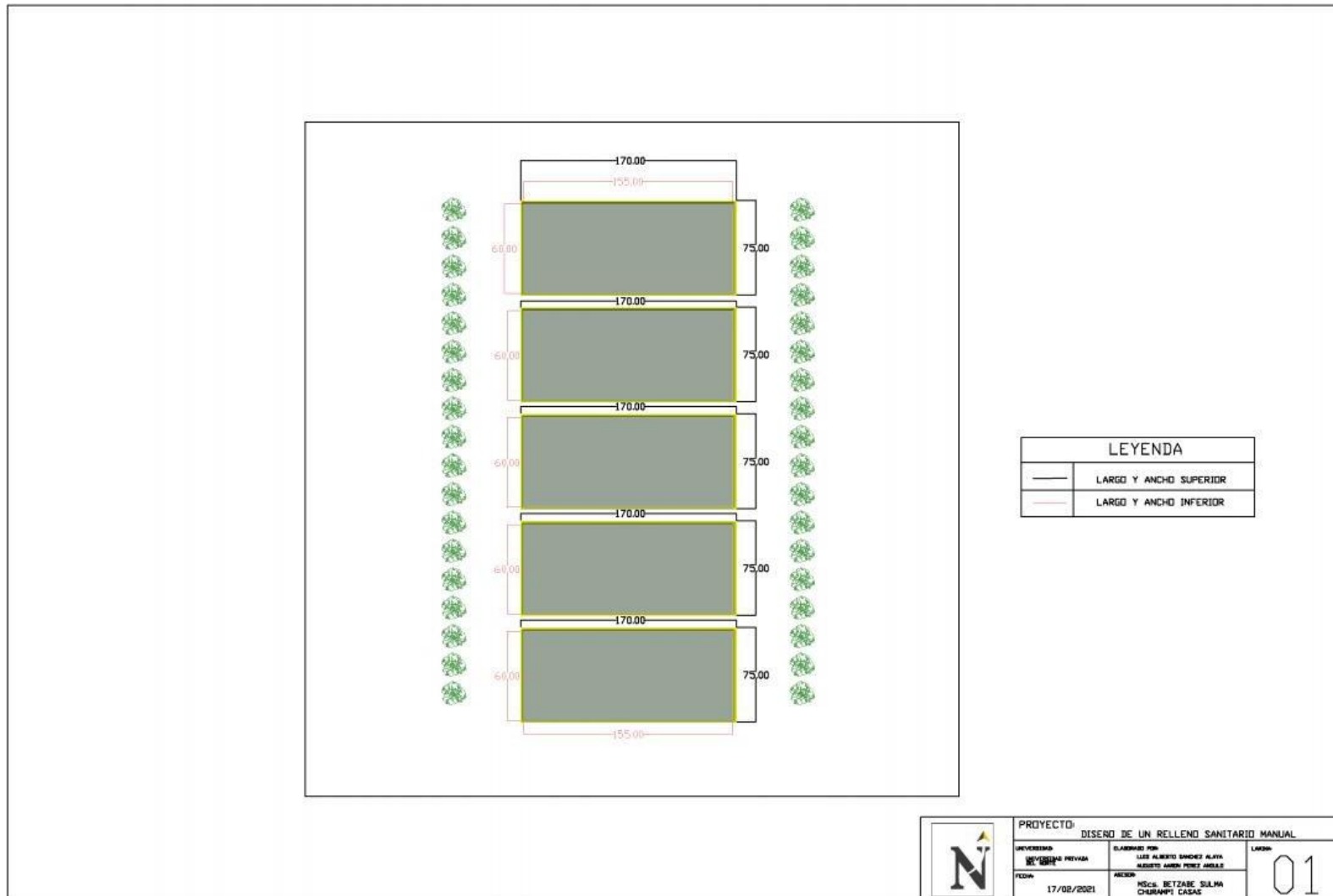
Fuente: Sanchez, L; Perez, A

Anexo N° 09. Modelamiento propuesto del relleno sanitario.



Fuente: Sanchez, L; Perez, A

Anexo N° 10. Plano relleno sanitario (celdas), distrito de Baños del Inca.



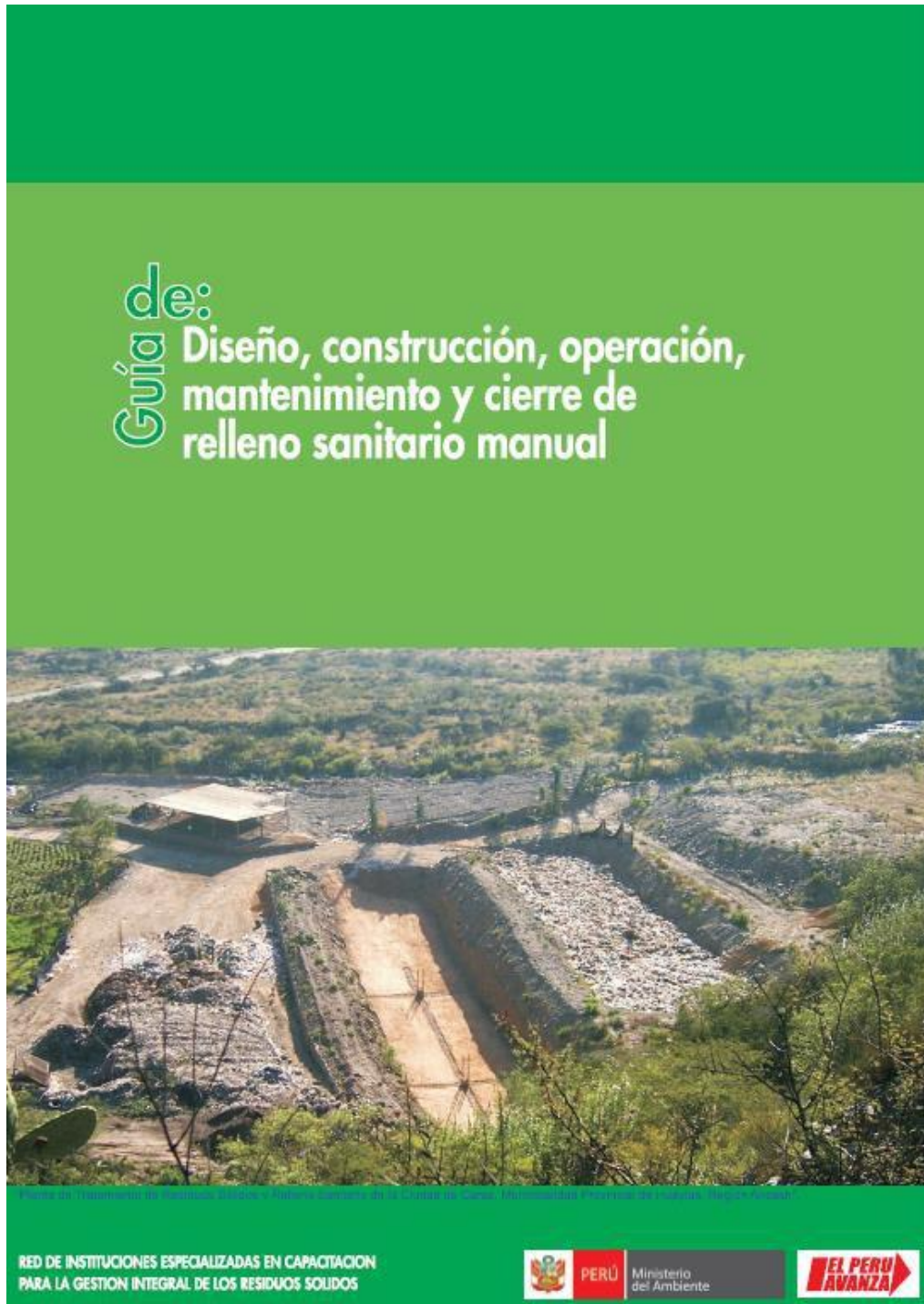
Fuente: Sanchez, L; Perez, A

Anexo N° 11. Guía para el diseño y construcciones de infraestructuras para
disposición final de residuos sólidos municipales (2019)



Fuente: "Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales". (MINAM, 2019)

Anexo N° 02. Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno
sanitario manual (2011)



Fuente: "Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual". (MINAM, 2011)