

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Propuesta de un Relleno Sanitario para el adecuado manejo de residuos sólidos municipales en el distrito de Huáchac – Junín

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental

Autor:

Kamily Vivian Lozano Samaniego
Josue Bernabe Asarpay Marcelo

Asesor:

Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga

Lima, diciembre de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental , de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Propuesta de un Relleno Sanitario para el adecuado manejo de residuos sólidos municipales en el distrito de Huáchac – Junín**” constituye la memoria que presenta **Kamily Vivian Lozano Samaniego y Josue Bernabe Asarpay Marcelo** para obtener el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 23 días del mes de diciembre del año 2020.



Ing. Milda Amparo Cruz Huaranga

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a..... 23..... día(s) del mes de..... diciembre.....del año 2020.... siendo las... 10:40....horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

..... Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez....., el (la) secretario(a): ... Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

..... y los demás miembros: Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio.....

..... y el (la) asesor(a)

..... con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Propuesta de un Relleno Sanitario para el manejo de residuos sólidos municipales en Huáchac

- Junín

..... de los (las) candidato (as): a) Kamily Vivian Lozano Samaniego.....

..... b) Josue Bernabe Asarpay Marcelo.....

..... c).....

..... conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

..... Ingeniería Ambiental.....

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Kamily Vivian Lozano Samaniego.....

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| | 15 | B- | Bueno | Muy Bueno |

Candidato/a (b): Josue Bernabe Asarpay Marcelo.....

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| | 15 | B- | Bueno | Muy Bueno |

Candidato/a (c):

| CALIFICACIÓN | ESCALAS | | | Mérito |
|--------------|-----------|---------|-------------|--------|
| | Vigesimal | Literal | Cualitativa | |
| | | | | |


(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a


Candidato/a (a)

Miembro


Candidato/a (b)

Miembro

Candidato/a (c)

Propuesta de un Relleno Sanitario para el adecuado manejo de residuos sólidos municipales en el distrito de Huáchac – Junín

Asarpay Marcelo Josue Bernabe a, Lozano Samaniego Kamily Vivian
°EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

Los botaderos son consecuencia de la inadecuada gestión de residuos sólidos, contaminan el medio ambiente, generando vectores, focos de infección, malos olores, gases y lixiviados; como es el caso del distrito de Huáchac. Ante esta problemática la presente revisión tiene como objetivo mostrar el dimensionamiento, capacidad y vida útil de un relleno sanitario manual para el manejo de residuos sólidos. En la metodología se determinó el número de muestras para la caracterización de residuos, obteniéndose 0.387 kg/hab-día de GPC. Se propuso 10 años como; tiempo de vida, proyección de residuos y proyección de población, con estos datos se calculó el volumen mínimo útil (VMU), que es de 9267.22 m³, sabiendo esto se establece parámetros de diseño a fin de que la capacidad sea mayor al VMU, dando como resultado 9472 m³ de capacidad. Con los datos obtenidos se determinó 10 años y 77 días el tiempo de vida útil.

Se concluye que el relleno sanitario manual es un método factible en el distrito de Huáchac para mejorar la disposición de residuos sólidos, el diseño está relacionado con el tiempo de vida útil, necesitándose un terreno mínimo de 2816 m².

Palabras clave: botadero, VMU, residuos sólidos, relleno sanitario y GPC.

Abstrac

The dumps are a consequence of the inadequate management of solid waste, they pollute the environment, generating vectors, sources of infection, bad odors, gases and leachates; as is the case of the Huáchac district. Faced with this problem, the present review aims to show the design, capacity and useful life of a manual sanitary landfill for solid waste management. In the methodology, the number of samples for the characterization of residues was determined, obtaining 0.387 kg / person-day of GPC. He proposed 10 years as; life time, waste projection and population projection, with these data the minimum useful volume (VMU) was calculated, which is 9267.22 m³, knowing this, design parameters are established so that the capacity is greater than the VMU, giving as a result 9472 m² of capacity. With the data obtained, the useful life of the r was determined 10 years and 77 days. The manual sanitary landfill is a feasible method in the district of Huáchac to improve the management of solid waste, the design is related to the useful life time and finally, with the data obtained, it is concluded that a minimum area of 2816 m² is needed.

Keywords: dump, solid waste, VMU, landfill and CPG.

1. Introducción

Residuo sólido es cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio puede estar en fase sólida o semisólida, se pueden clasificar en residuos peligrosos y no peligrosos, según la normativa vigente. (Galvis, 2016)

La generación de residuos es uno de los principales problemas ambientales a nivel nacional (Zeballos;Renteria, 2014), debido a diversos factores como: el consumismo, el crecimiento poblacional y la deficiencia en los sistemas de gestión, (MINAM, 2014) además se suma la falta de responsabilidad ambiental, generando la presencia de botaderos informales, provocando la presencia de vectores y los focos de infección (Maximiliano; Perez; Marcela, 2015).

Huáchac es un distrito ubicado en el departamento de Junín, con una población de 2948 habitantes, fue fundada el 8 de enero 1941, las actividades predominantes en el distrito son la agricultura y ganadería. Sus principales productos son: papa, maíz, habas, arvejas, alfalfa y quínoa. Tienen ganado vacuno, ovino y porcino, y también se dedican a la crianza de cuyes. La mayor parte de generación de residuos sólidos en Huáchac son residuos orgánicos, el cual está relacionado con las actividades económicas propias del distrito.

Actualmente no cuenta con un área especializada en el cuidado ambiental, motivo que dificulta la gestión adecuada de residuos sólidos (Municipalidad de Huáchac, 2020). La frecuencia de recolección de residuos sólidos en Huáchac

son 3 veces a la semana, disponen de un vehículo pequeño cuya capacidad es excedida por la cantidad de residuos a recoger. Posteriormente son trasladados al botadero informal Colpas en el cual son depositados y algunos residuos son incinerados por el personal municipal, incumpliendo con lo establecido en la normativa ambiental vigente que prohíbe el uso de botaderos informales

La falta de un área ambiental y un especialista encargado de los cumplimientos de la normativa, se refleja en el manejo inadecuado de residuos sólidos que se tiene en el distrito.

Ante la problemática expuesta se tiene como objetivo mostrar el diseño, capacidad y vida útil del relleno sanitario manual para el manejo de residuos sólidos para el distrito de Huáchac.

2. Revisión

2.1. Botadero

Es el lugar donde se disponen los residuos sólidos sin ningún tipo de control, en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios y ambientales donde los residuos no se cubren ni se compactan, generando olores desagradables, gases y lixiviados. (Perez, 2017)

2.2. Inadecuado manejo de residuos sólidos municipales

Es el incumplimiento de la normativa ambiental vigente establecidas para el manejo de residuos sólidos originando proliferación de vectores (moscas, cucaracha, moscas, etc.), portadores de microorganismos, capaces de transmitir enfermedades y deteriorar la salud, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. (Eguizabal, 2011)

El manejo inadecuado de residuos sólidos no ocasiona en sí mismo daño al ser humano o al ambiente, pero desencadena factores de riesgos que generan daños al ambiente y enfermedades de transmisión vectorial. (Instituto Nacional de Salud, 2018)

2.3. Enfermedades originadas por el inadecuado manejo de residuos sólidos municipales

La acumulación de residuos genera microbios, al estar en contacto con el agua o alimentos genera diversas enfermedades. A continuación, se presentan en la tabla (1) enfermedades generadas por vectores y el medio de contagio.

Tabla 1 Enfermedades por contacto con Residuos Sólidos

| Vector | Medio | Enfermedades |
|-------------------|-------------------------------------|--|
| Ratas | Mordiscos, orina y heces | Peste bubónica, tifus murino y leptospirosis |
| Pulgas | Deyecciones y picadura | Tifus murino y peste bubónica |
| Arañas | Mordedura | Malestar general, espasmos y contracciones generales |
| Piojos | Picadura | Tifo exantemático epidémico, fiebre recurrente cosmopolita |
| Moscas | Vía mecánica (alas, patas y cuerpo) | Fiebre tifoidea, salmonelosis, cólera, amebiasis, disentería |
| Mosquitos | Picadura de mosquito hembra | Malaria (paludismo), fiebre amarilla, dengues y filariasis |
| Cucarachas | Vía mecánica (alas, patas y cuerpo) | Fiebre tifoidea, cólera y giardiasis |
| Aves | Heces | Toxoplasmosis |

Fuente: García y Hoocker, Diseño de relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Ocotal, departamento de nueva Segovia, Nicaragua, 2017

2.4. Relleno sanitario

Es una técnica de disposición de residuos sólidos, que consiste en la disposición de capas de basura compactada sobre una base impermeabilizada para evitar la contaminación del acuífero, además no causa daños a la salud pública. El relleno sanitario utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en la menor área posible y cubrirlos con capas de tierra. Una ventaja del relleno sanitario sobre otros métodos de tratamiento de residuos, es la posibilidad de recuperación de áreas ambientalmente degradadas por la minería o explotación de canteras, así como de terrenos considerados improductivos o marginales. (Ullca, 2005)

2.5. Elección del relleno sanitario municipal

La clasificación de rellenos sanitarios es de acuerdo a la capacidad que tiene la infraestructura. En la tabla (2) se especifica la clasificación.

Tabla 2 Clasificación de Rellenos sanitarios según la capacidad

| Clasificación de rellenos sanitarios según la capacidad de residuos sólidos | |
|---|--|
| Relleno sanitario manual | Capacidad de operación diaria no excede a seis (06) toneladas métricas TM. |
| Relleno sanitario semi-mecanizado | Capacidad de operación diaria es más de seis (06) hasta cincuenta (50) TM |
| Relleno sanitario mecanizado | Capacidad de operación diaria es mayor a cincuenta (50) TM, |

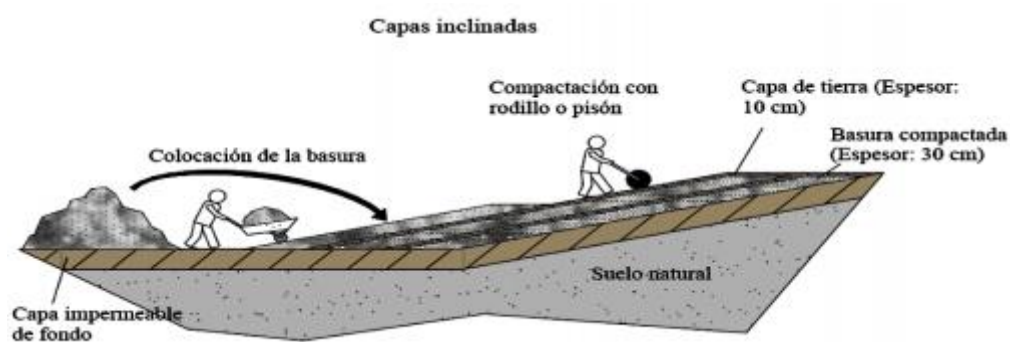
Fuente: D.S N° 014-2017-MINAM Reglamento de Ley de gestión integral de residuos sólidos, Perú 2017

2.6. Relleno sanitario manual

La selección del tipo de relleno es de acuerdo a la cantidad de población y la cantidad residuos, para zonas rurales como Huáchac que tienen pequeñas poblaciones es recomendable el relleno sanitario manual que tiene una capacidad de 06 TM. El tipo de relleno sanitario también está relacionado con el nivel económico de la población.

El término manual es debido a que se necesitara el apoyo de hombres para las operaciones de: compactación y confinamiento de los residuos (Jaramillo, 2002).

Ilustración 1. Operaciones en un Relleno Sanitario Manual



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Guía para la Implementación de un relleno sanitario, México 2010

2.7. Criterios a considerar para la selección del potencial terreno del futuro relleno sanitario

2.7.1. Ubicación del área para el futuro relleno sanitario

El relleno sanitario debe estar cercano a la población que servirá, sin embargo no puede estar ubicada a una distancia menor a 500 metros de la población. Es recomendable tener 2 a más propuestas de terreno para la infraestructura del relleno a fin de poder evaluarlas y seleccionar aquella que tenga un mayor puntaje. (Eguizabal, 2011)

También se considera el nivel de agua subterránea en el terreno, debe estar a una profundidad adecuada para evitar el riesgo a ser contaminada, además de poder brindar el material de cobertura necesario.

2.7.2. Vida Útil

La vida útil es el valor de tiempo expresado en años, meses o días, en el cual el relleno sanitario manual puede recibir residuos sólidos, el tiempo de vida no puede ser menor a los 10 años (D.S N° 014-2017-MINAM, 2017), por lo que el terreno seleccionado debe tener la capacidad suficiente para el periodo de vida.

2.7.3. Vías de Acceso

Es el área en el cual el personal y los vehículos de recolección van a transitar, deben ser de fácil acceso.

Para prevenir posibles riesgos en las vías de acceso y vías internas en temporadas de lluvia se debe considerar las medidas de reducción de riesgo en el plan de operación de infraestructura.

2.7.4. Topografía y Material de cobertura

La topografía local definirá el tipo de operación en el relleno sanitario, es decir desde donde iniciara la operación, alturas de celda, etc.

El relleno sanitario puede diseñarse en cualquier topografía, sin embargo, es preferible aquella que tenga un mayor volumen aprovechable ya que es necesario proveer el material de cobertura.

La cobertura es el recubrimiento diario de residuos con tierra, el material de cobertura puede extraerse de los materiales excavados en el área del relleno, el área seleccionada debe tener suficiente material de cobertura ya que dependerá de esto el éxito del relleno. En caso el área seleccionada no tenga el material de cobertura autosuficiente su puede adquirir el material de cobertura de un lugar cercano.

Las funciones que cumple el material de cobertura son: prevención y proliferación de vectores, evitar incendios, minimización de malos olores, disminuir el contacto de agua de lluvia con los residuos sólidos y dar una apariencia estéticamente aceptable (Garcia & Hooker, 2017).

2.7.5. Condiciones climáticas

La condición climática debe ser favorable para el proyecto, la predominancia del viento es importante como medida frente al olor y polvo que se puede generar en la operación. Influyen directamente en el estado de las vías de acceso, durante periodos de lluvia

2.7.6. Geología

Un estudio geológico es de gran relevancia para evaluar si el tipo de suelo (estratigrafía) es adecuado para el proyecto, para evitar que cualquier contaminante pueda penetrar al suelo y llegar a la napa acuífera. El tipo de suelo recomendado para la construcción de un relleno sanitario son los suelos areno-arcillosas, por su nivel poco permeable, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce.

2.7.7. Condiciones ambientales locales

Está relacionado con la generación de olores, ruidos, polvos, riesgos de residuos sólidos en las vías de acceso, etc.

2.8. Métodos de Construcción

El método constructivo depende directamente de las condiciones de la topografía del terreno, considerando el tipo y del nivel freático, los métodos son:

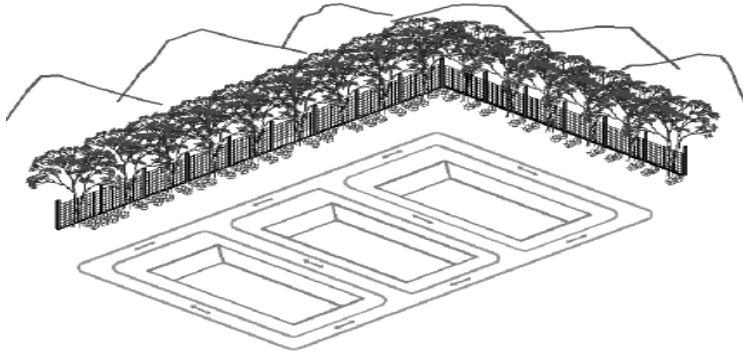
2.8.1. Método de trinchera o zanja

Se usa generalmente en terrenos con pendientes planas o suelos de fácil excavación y el nivel freático a una profundidad adecuada. Este método consiste en la excavación de zanjas con determinadas dimensiones con una retroexcavadora o un tractor de orugas.

Las zanjas o trincheras son habilitadas previo a su uso, con dispositivos que eviten la infiltración de lixiviados mediante la impermeabilización del terreno y drenes de recolección.

Los residuos son depositados dentro de las zanjas, luego son compactados y cubiertos con el material de cobertura apropiado, en zonas de alto grado de precipitación se debe considerar alternativas de manejo de aguas de escorrentía para evitar el deterioro del sistema, por el incremento de cantidad de líquido percolado (Jaramillo, 2002). En la siguiente ilustración (2) se muestra el método trinchera.

Ilustración 2 Relleno Sanitario Manual, Método Trinchera



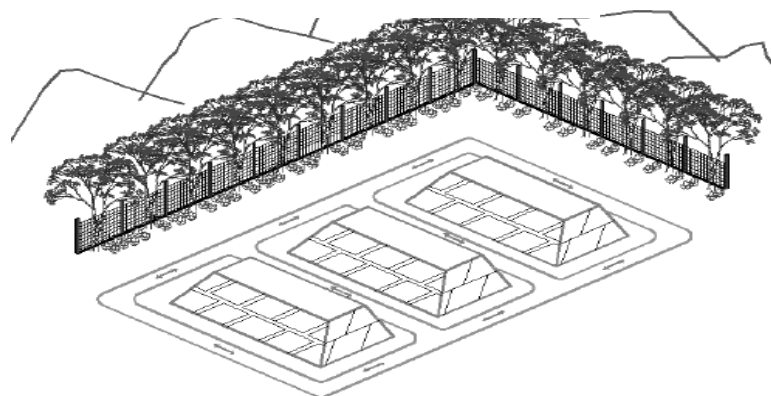
Fuente: Iguizabal, Método trinchera, Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual, Perú 2011

2.8.2. Método de área

Método aplicado en terrenos que sean semi planas o planas, donde no sea posible o factible excavar zanjas o trincheras para el depósito de residuos.

Previo a la construcción de las celdas, el terreno debe ser acondicionado y nivelado, teniendo en cuenta la pendiente de construcción de celdas para evitar deslizamientos y lograr estabilidad (Jaramillo, 2002). En la ilustración (3) se muestra el método por área y su distribución:

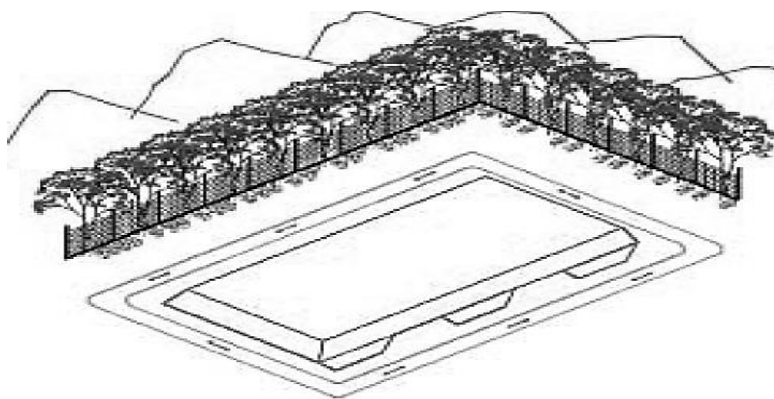
Ilustración 3 Método de construcción por Área



Fuente: Iguizabal, Método área, Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual, Perú 2011

El método combinado se aplica en terrenos planos, consiste en iniciar la operación con el método trinchera y culminar con el método por el área, las ventajas de este método son: empleo de menor área para el aprovechamiento de un mayor volumen de disposición y aprovecha al máximo el material de la excavación para emplearse como material de cobertura (Jaramillo, 2002). En la ilustración (4) se presenta el método área y trincheras combinadas:

Ilustración 4 Método de construcción Combinado



Fuente: Iguizabal, Método combinado, Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual, Perú 2011

2.9. Criterios de diseño para el relleno sanitario manual municipal

2.9.1. Población

Conociendo el total de habitantes facilita la cantidad de residuos sólidos que se dispondrá en el relleno sanitario. Los residuos del ámbito rural son de menor cantidad a diferencia de los residuos urbanos, por factores como: concentración de las masas y tecnología.

2.10. Proyección de la población.

Es la proyección futura que tendrá el proyecto que va a partir de los 5 a 10 años. La tasa de crecimiento poblacional se determina conociendo la información censal, para esto se toma como fuente al instituto nacional de estadística e informática (INEI).

Se usa la ecuación (1) para hallar el crecimiento poblacional

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

Pf: Población futura (hab)

Po: Población actual (hab)

R: Tasa de crecimiento de la población (%)

T: (Tf – To) Variable de tiempo (años)

2.10.1. Generación per cápita

Este dato se obtiene del estudio de caracterización de residuos sólidos de la población, se expresa en kilogramo por habitante día (kg/hab-día), es el resultado de dividir la cantidad total de residuos entre la cantidad total de pobladores, véase la siguiente ecuación (2) para hallar la generación per cápita:

$$GPC = \frac{CRR}{Pob}$$

GPC: Generación per cápita (kg/hab-día)
CRR: Cantidad de residuos recolectados (kg)
Pob: Población (N° habitantes)

2.10.2. Cantidad de residuos diarios

La cantidad de la producción total de residuos, se estima 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 o anual durante el tiempo de vida útil de la infraestructura. La generación total se obtendrá aplicando la siguiente ecuación (3) (Eguizabal, 2011) :

$$CRD = GPC \times Pob$$

CRD: Cantidad de residuos diarios (kg/día)
GPC: Generación per cápita (kg/hab-día)
Pob: Población (hab)

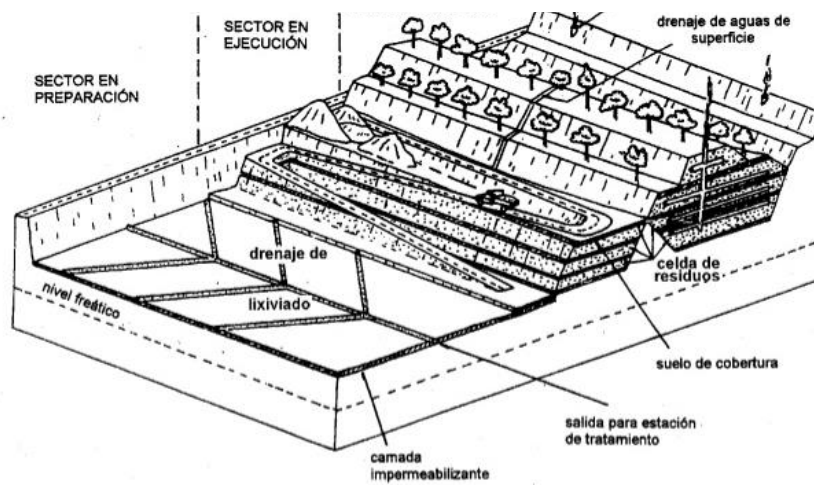
2.11. Instalaciones mínimas en un relleno sanitario

A diferencia de un botadero un relleno sanitario cumple con la infraestructura adecuada y con los requerimientos que exige la ley integral de residuos sólidos, en la cual menciona que sus instalaciones deben cumplir como mínimo (D.S N° 014-2017-MINAM, 2017) : En la ilustración (5) se muestra las instalaciones de un relleno sanitario manual y su ubicación

Impermeabilización de la base y los taludes del relleno para evitar la contaminación ambiental por lixiviados ($k \leq 1 \times 10^{-6}$ cm/s y en un espesor mínimo de 0.40 m); salvo que se cuente con una barrera geológica natural para dichos fines, lo cual estará sustentado técnicamente. De no cumplir con las condiciones antes descritas, la impermeabilización de la base y los taludes del relleno deben considerar el uso de geo membrana con un espesor mínimo de 1.2. mm y el uso de geotextil entre la geo membrana.

- Drenes de lixiviados con planta de tratamiento o sistema de recirculación interna de los mismos.
- Drenes y chimeneas de evacuación y control de gases.
- Canales perimétricos de intersección y evacuación de aguas de escorrentía superficial.
- Barreras sanitarias, que pueden ser barreras naturales o artificiales que contribuyan a reducir los impactos negativos y proteger a la población de posibles riesgos sanitarios y ambientales
- Pozos para el monitoreo de agua subterránea, en caso corresponda.
- Sistemas de monitoreo y control de gases y lixiviados.
- Señalización y letreros de información conforme a la normativa sobre seguridad y salud en el trabajo.

Ilustración 5 Instalaciones en un Relleno Sanitario



Fuente Organización Panamericana de la Salud, Rellenos sanitarios, 2010

2.12. Beneficios de un relleno sanitario

La implementación de un relleno sanitario manual municipal genera empleo de mano de obra poco calificada en la zona que se ejecuta; en las operaciones de construcción, recojo de residuos, mantenimiento y funcionamiento del relleno sanitario.

Los residuos recolectados pueden ser aprovechados (reciclaje y compostaje) con fines económicos dependiendo de sus características, esta acción es denominada como valorización material.

2.13. Diseño para el relleno sanitario manual de Huáchac

2.13.1. Cálculo para hallar la muestra significativa de viviendas

Se usa la siguiente fórmula para hallar el número de muestras para el estudio de caracterización.

$$n = \frac{Z^2 * N * \sigma^2}{(N - 1)E^2 + Z^2 * \sigma^2} = 69$$

N=737 total de habitantes

Z=1.96 (nivel de confianza al 95%)

σ = 0.25 desviación estándar

E= 0.056 error permisible = 10% de GPC nacional, 0,056

Se suma el porcentaje de contingencia (20 %), para eliminar datos anormales sin necesidad de afectar la confiabilidad estadística de la muestra de 20% con respecto al total de las muestras halladas.

$$n = 69 + 20\% = 83$$

El valor de “n” determina el número viviendas que serán caracterizadas, para el caso de Huáchac serán 83 viviendas.

2.13.2. Generación Per Cápita

La caracterización se realizará por un periodo de 8 días, posteriormente la muestra será llevada a un laboratorio para obtener la composición de residuos, esto permitirá hallar la generación per cápita de Huáchac. En la siguiente tabla (3) se presenta la composición de los residuos.

Para la composición de los residuos obtenidos de la caracterización se consideró datos del distrito de Orcotuna, debido a la inexistencia de instrumentos o estudios anteriores en el distrito de Huáchac.

Tabla 3 Composición de residuos sólidos obtenidos de la caracterización

| Composición de los residuos sólidos | Kg | % |
|--|-----------|----------|
| Materia orgánica | 60.4 | 46.72 |
| Madera, follaje | 0.5 | 0.36 |
| Papel | 2.5 | 1.94 |
| Cartón | 1.8 | 1.41 |
| Vidrio | 4.7 | 3.63 |
| Plástico PET | 1.9 | 1.44 |
| Plástico duro | 3.0 | 2.29 |
| Bolsas desechables | 6.6 | 5.09 |
| Tecnopor y similares | 0.4 | 0.28 |
| Metales | 3.3 | 2.55 |
| Telas y textiles | 2.5 | 1.91 |
| Caucho, cuero y jebe | 1.7 | 1.3 |
| Pilas | 1.0 | 0.74 |
| Restos de medicina, focos | 0.5 | 0.4 |
| Residuos sanitarios | 11.7 | 9.02 |
| Residuos inertes | 25.3 | 19.54 |
| Latas | 1.8 | 1.38 |
| Total | 129.26 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

2.13.2.1. Cálculo de Generación per cápita

$$GPC = \frac{129.26 \text{ kg/día}}{334 \text{ Hab}} = 0.387 \frac{\text{kg}}{\text{hab día}}$$

2.13.3. Población futura

Ahora hallamos el cálculo de la población futura para la cantidad de años que se está proyectando en relleno sanitario manual municipal. En la tabla (4) se detalla la proyección de población para 10 años.

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

Pf: Población futura (Hab)
 Po: 2948 Población actual (Hab)
 R: 0.01 Tasa de crecimiento de la población (%)
 T: (Tf – To) Variable de tiempo (años)

Tabla 4 Proyección de habitantes de Huáchac por 10 años

| Cálculo de habitantes por año | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Hab | 2948 | 2979 | 3010 | 3041 | 3073 | 3104 | 3137 | 3169 | 3202 | 3236 | 3269 |

Fuente: Elaboración propia

2.13.4. Cantidad de residuos diarios a disponer

Para hallar la estimación de la cantidad de residuos a diarios en el relleno sanitario manual para cada año (0-10 años), en la tabla (5) se detalla la proyección de residuos por día, mes y año.

$$CRD\left(\frac{Tn}{dia}\right) = GPC \times Pob$$

$$CRD = 0.387 \frac{kg}{hab} dia \times 2948 hab$$

$$CRD = 1140.88 \frac{kg}{dia}$$

$$CRD = 1.14 \frac{Tn}{dia}$$

Tabla 5 Proyección de la cantidad de residuos

| Año | Habitantes | TN / DÍA | TN / MES | TN / AÑO |
|-----|------------|----------|----------|----------|
| 0 | 2948 | 1.14 | 35.37 | 424.41 |
| 1 | 2979 | 1.15 | 35.73 | 428.82 |
| 2 | 3010 | 1.16 | 36.11 | 433.28 |
| 3 | 3041 | 1.18 | 36.48 | 437.78 |
| 4 | 3073 | 1.19 | 36.86 | 442.34 |
| 5 | 3104 | 1.20 | 37.24 | 446.94 |
| 6 | 3137 | 1.21 | 37.63 | 451.58 |
| 7 | 3169 | 1.23 | 38.02 | 456.28 |
| 8 | 3202 | 1.24 | 38.42 | 461.02 |
| 9 | 3236 | 1.25 | 38.82 | 465.82 |
| 10 | 3269 | 1.27 | 39.22 | 470.66 |

Fuente: Elaboración propia

2.13.5. Cálculo del volumen mínimo útil

VMU: es el volumen mínimo que sumarán las celdas de disposición final de cada año, en la tabla (6) se presenta el valor del volumen mínimo útil.

$$VMU = \sum VARD$$

Tabla 6 Proyección de Volumen mínimo útil

| Año | Generación de residuos (Ton/año) | Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3) | VAR (m3/año) | Cant. de mat. de cobertura (%) | Volumen de Material de cobertura(m3/año) | VARD (m3/año) | VMU (m3) |
|-----|----------------------------------|---|--------------|--------------------------------|--|---------------|----------|
| 1 | 424.41 | 0.6 | 707.34 | 0.25 | 176.84 | 884.18 | |
| 2 | 428.82 | 0.6 | 714.70 | 0.25 | 178.67 | 893.37 | |
| 3 | 433.28 | 0.6 | 722.13 | 0.25 | 180.53 | 902.66 | |
| 4 | 437.78 | 0.6 | 729.64 | 0.25 | 182.41 | 912.05 | |
| 5 | 442.34 | 0.6 | 737.23 | 0.25 | 184.31 | 921.53 | |
| 6 | 446.94 | 0.6 | 744.89 | 0.25 | 186.22 | 931.12 | 9267.22 |
| 7 | 451.58 | 0.6 | 752.64 | 0.25 | 188.16 | 940.80 | |
| 8 | 456.28 | 0.6 | 760.47 | 0.25 | 190.12 | 950.58 | |
| 9 | 461.02 | 0.6 | 768.37 | 0.25 | 192.09 | 960.47 | |
| 10 | 465.82 | 0.6 | 776.36 | 0.25 | 194.09 | 970.45 | |

Fuente: Elaboración propia

- **Año:** Es el número de años que como mínimo debe operar un relleno sanitario en el Perú.
- **Generación de residuos:** los datos vienen de la tabla N° 6
- **Densidad Estabilizada:** es el valor mínimo que debe alcanzar el residuo respecto a la operación de disposición final (D.S.057-PCM-2004).
- **VAR:** volumen anual de residuos

$$VAR = \frac{\text{Generación de residuos } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}}\right)}{\text{Densidad de residuos estabilizados } \left(\frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right)}$$

- **Cantidad de material de cobertura (%):** es un valor de referencia establecido en función del espesor de la capa de cobertura diaria a utilizar.
- **Volumen de Material de cobertura (m3/año):** es el volumen de la cobertura acumulada del total de residuos por año
- **VARD (m3/año):** volumen anual de residuos dispuestos, considera la cantidad de generación anual de residuos.

$$VARD = VAR \frac{\text{m}^3}{\text{año}} + \text{Cantidad de material de cobertura (m}^3/\text{Año)}$$

2.13.6. Capacidad útil de diseño

Se obtiene producto del volumen de diseño que se ha establecido para los fines del proyecto. Este dato tendrá que ser superior al volumen mínimo útil 9267.22 m³. En la siguiente tabla (7) se presenta los parámetros de diseño necesario.

Tabla 7 Parámetros de diseño necesarios para hallar la capacidad útil de diseño (CUD)

| Parámetro/fórmula | Unidad de Medida | Cantidad |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Largo superior (ls) | m | 88 |
| Ancho superior (as) | m | 32 |
| Área superior (As)=ls x as | m ² | 2816 |
| Altura (h) | m | 4 |
| Talud de la trinchera (H) | | 1 |
| Talud de la trinchera (V) | | 1 |
| Largo inferior (li)=ls-2 x hH | m | 80 |
| Ancho inferior (ai)=as-2 x hV | m | 24 |
| Área inferior (Ai)=li x ai | m ² | 1920 |

Fuente: Elaboración propia

$$CUD (m^3) = \frac{(As + Ai)}{2 * h}$$

$$CUD = 9472 m^3$$

Calculando la capacidad útil de diseño nos da como resultado 9472 m³ y cumplimos con que sea mayor con el volumen mínimo útil de 9267.22 m³, que se observa en la tabla 3.

2.13.7. Volumen anual de residuos dispuestos acumulado (VARD)

En la siguiente tabla (8) se detalla el valor del VARD acumulado para cada año, en la cual debemos comparar nuestro CUD a los valores que más se aproximen.

Tabla 8 Proyección del volumen anual acumulado de residuos a disponer

| Año | Generación TN / AÑO | VAR (m3/año) | VAR acumulado | Mat de cobertura 25% | VARD Acumulado |
|------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| 1 | 424.41 | 707.34 | 707.34 | 176.84 | 884.18 |
| 2 | 428.82 | 714.70 | 1422.04 | 355.51 | 1777.55 |
| 3 | 433.28 | 722.13 | 2144.17 | 536.04 | 2680.22 |
| 4 | 437.78 | 729.64 | 2873.81 | 718.45 | 3592.27 |
| 5 | 442.34 | 737.23 | 3611.04 | 902.76 | 4513.80 |
| 6 | 446.94 | 744.89 | 4355.93 | 1088.98 | 5444.92 |
| 7 | 451.58 | 752.64 | 5108.57 | 1277.14 | 6385.72 |
| 8 | 456.28 | 760.47 | 5869.04 | 1467.26 | 7336.30 |
| 9 | 461.02 | 768.37 | 6637.41 | 1659.35 | 8296.77 |
| 10 | 465.82 | 776.36 | 7413.78 | 1853.44 | 9267.22 |
| 11 | 470.66 | 784.44 | 8198.21 | 2049.55 | 10247.77 |

Fuente: Elaboración propia

2.13.8. Cálculo de 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 simple.

Datos:

$$\text{CUD} = 9472 \text{ m}^3$$

$$\text{Año } 10 = 9267.22$$

$$\text{Año } 11 = 10247.77$$

Aplicando regla de 3 simple para hacer el cálculo en días.

| | |
|----------------|------------------------|
| N° días | m³ |
| 365 | 980.55 (Año 11-Año 10) |
| X | 204.78 (CUD – Año 10) |

$$x = \frac{204.78}{365} \text{ días}$$

$$x = 76.23 \text{ días}$$

$$x = 77 \text{ días}$$

Convirtiendo a años

$$x = 77 \text{ días} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$x = 0.21 \text{ años}$$

La vida útil del relleno sanitario sería

$$\text{Vida Util} = 10 \text{ años} + 0.21 \text{ años}$$

$$\text{Vida Util} = 10.21 \text{ años}$$

La vida útil del relleno sanitario obtenida es de 10 años y 77 días.

Cálculo del área total del terreno

En este cálculo se está considerando las áreas administrativas y vías de acceso, considerando un 30 % por ciento para dichas áreas

$$\text{Área total (m}^2\text{)} = \text{Área superior de rellenos sanitario(m}^2\text{)} + 30\% \text{Área superior de rellenos sanitario(m}^2\text{)}$$

$$\text{Área total (m}^2\text{)} = 2816 \text{ (m}^2\text{)} + 30\%2816\text{(m}^2\text{)}$$

$$\text{Área para el dimensionamiento del relleno con infraestructura(m}^2\text{)} = 3660.8\text{(m}^2\text{)}$$

3. Conclusión

El relleno sanitario manual municipal, requiere de la ubicación del terreno teniendo en consideración: las vías de acceso, topografía, material de cobertura, condiciones climáticas, vida útil, geología y condiciones ambientales locales. Los cuales deben cumplir con los lineamientos de la normativa ambiental vigente como el Decreto Legislativo N° 1278 ley de gestión integral de residuos sólidos (Ley GIRS).

Para el diseño debe realizarse una caracterización de residuos sólidos, previamente hallando el número de muestras y sumándole el porcentaje de contingencia (20%) para una mayor confiabilidad, aplicando la fórmula de muestra se obtuvo que 83 viviendas participarán en la caracterización por el periodo de 8 días. Ante la inexistencia de instrumentos o estudios que faciliten la información necesaria de residuos en Huáchac, se asumió datos de composición de residuos simulados de un distrito cercano (Orcotuna), como resultado la GPC fue de 0.387 kg/hab-día, se proyectó la población y generación de residuos por el periodo de 10 años obteniéndose como resultado 3269 habitantes con una generación de 1.27 Tn/día.

La proyección de residuos permitirá hallar el volumen mínimo útil que tendrán el relleno sanitario de disposición final que fue de 9267.22 m³ por los 10 años de proyección. En la capacidad útil de diseño se asumió valores que den como resultado un valor superior al volumen mínimo útil (VMU). Para el cálculo de la capacidad útil de diseño se consideró el volumen anual de residuos dispuestos de los dos últimos años (VARD), siendo de 10 años y 77 días la vida útil del relleno sanitario manual.

El relleno sanitario necesitará 2816 m², considerando las áreas administrativas y vías de acceso se añadió un 30% siendo 3660.8 m² el área total requerida.

Recomendaciones

Para la elección del área del terreno se recomienda tener más de una opción y realizar una evaluación y elegir el más conveniente o el de mayor puntaje.

Realizar el estudio de caracterización en el distrito de Huáchac para conocer la composición de residuos y hallar la generación per cápita exacta, ya que el presente artículo uso datos simulados para el dimensionamiento del relleno sanitario.

Elaborar un programa de valorización, para residuos orgánicos e inorgánicos aprovechables, a fin de aprovechar, minimizar y obtener abono para la fertilización de áreas verdes y promover el reciclaje en el distrito de Huáchac.

Elaboración del plan de manejo de residuos sólidos, instrumento que promueve la gestión adecuada y manejo eficaz de residuos sólidos.

Referencias

- MINAM. (2014, diciembre). SEXTO INFORME NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA GESTIÓN DEL ÁMBITO MUNICIPAL Y NO MUNICIPAL 2013. Lima, Perú.
- D.S N° 014-2017-MINAM. (2017, diciembre 26). Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Lima, Perú: El Peruano.
- Decreto Legislativo N° 1278. (2016, diciembre 23). Diario oficial El Peruano . Lima, Perú.
- Eguizabal, R. (2011, Abril). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Lima, Lima, Perú: MINAM.
- Galvis, J. (2016, Noviembre 22). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Gestión y Región*, 22, 101-119.
- García, S., & Hooker, O. (2017, Junio 20). DISEÑO DE RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL MUNICIPIO DE OCOTAL, DEPARTAMENTO DE NUEVA SEGOVIA. Managua, Nicaragua, Nicaragua.
- Instituto Nacional de Salud. (2018). Vigilancia de Residuos Sólidos. Lima, Perú.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. México.
- Maximiliano; Perez; Marcela. (2015, junio). Óptima ubicación de un relleno sanitario para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá empleando sistemas de información geográfica. 1. Bogota, Colombia.
- Municipalidad de Huáchac. (2020, Marzo). PLANEFA. Plan anual de evaluación y fiscalización ambiental de la Municipalidad Distrital de Huáchac 2021. Huancayo, Junín, Perú.
- Perez, R. (2017). PLAN DE CIERRE Y RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS POR RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL BOTADERO DE "SAN JOSÉ" - ANDAHUAYLAS, APURÍMAC. Andahuaylas, Apurímac, Perú.
- Ullca, J. (2005). Los Rellenos Sanitarios. *Revistas de Ciencias de la Vida*, 17.
- Zeballos; Rentería. (2014, octubre 13). Propuesta de Mejora para la gestión estratégica del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios en el distrito de Los Olivos. Lima, Perú.