



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).  
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**Propuesta de diseño de celdas en la disposición final de residuos sólidos  
municipales en el botadero de la ciudad de Moyobamba - San  
Martín, 2018**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario**

**AUTOR:**

**Jaime Junior Dávila Vásquez**

**ASESOR:**

**Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna**

**Código N° 6054618**

**Moyobamba – Perú**

**2019**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO

## FACULTAD DE ECOLOGÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



**Propuesta de diseño de celdas en la disposición final de residuos sólidos  
municipales en el botadero de la ciudad de Moyobamba - San  
Martín, 2018**

**AUTOR:**

**Jaime Junior Dávila Vásquez**

**Sustentada y aprobada el 16 de diciembre del 2019, por los siguientes jurados:**

.....  
**Lic. Dr. Fabián Centurión Tapia**

**Presidente**

.....  
**Ing. M. Sc. Gerardo Cáceres Bardález**

**Secretario**

.....  
**Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález**

**Miembro**

.....  
**Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna**

**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad

**Jaime Junior Dávila Vásquez**, con DNI N° 70652045, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ecología de la de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, autor de la tesis titulada: **Propuesta de diseño de celdas en la disposición final de residuos sólidos municipales en el botadero de la ciudad de Moyobamba - San Martín, 2018.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Moyobamba, 16 de diciembre del 2019.

  
  
.....  
**Bach. Jaime Junior Dávila Vásquez**  
DNI N° 70652045

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres:	Dávila Vaizquez Jaime Junior		
Código de alumno :	125228	Teléfono:	998995179
Correo electrónico :	jjdavi1av@alumno.unsm.edu.pe		
		DNI:	70652045

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de:	Ecología
Escuela Profesional de:	Ingeniería Sanitaria

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título :	Propuesta de diseño de celdas en la disposición final de residuos sólidos municipales en el botadero de la ciudad de Moyobamba - San Martín, 2018
Año de publicación:	2019

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:


**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
Firma y huella del Autor

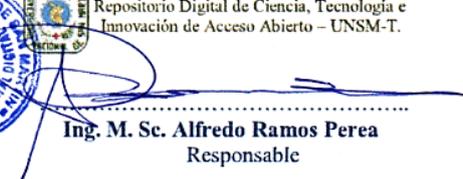
## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

22 / 07 / 2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e  
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

  
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

A mis padres Norma y Jaime que con su amor y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y de no temer las adversidades porque Dios está conmigo; mis hermanas Jessica y Nayla por su cariño y apoyo incondicional. Y a mis amigas Ambar, Katusca y Lucia por su apoyo desinteresado.

**Jaime Junior.**

## **Agradecimiento**

A Dios por bendecirme la vida, a mis padres y a todas las personas que estuvieron presentes en todo este trayecto de mi vida y que hicieron posible esta investigación.

Al Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna por su guía y asesoramiento en esta investigación.

Al Ing. Stánler Irigoín Vásquez por su ayuda y disponibilidad en el desarrollo de esta investigación.

A nuestra alma mater la Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ecología – Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, por haberme formado e instruido en mi formación académica durante los cinco años de mi vida universitaria.

## Índice general

Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Resumen .....	xi
Abstract.....	xii
Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes de la investigación .....	4
1.2. Marco teórico .....	6
1.3. Definición de términos.....	38
<b>CAPÍTULO II MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
2.1. Material .....	42
2.2. Métodos.....	42
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>45</b>
3.1. Resultados .....	45
3.2. Discusiones .....	58
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>62</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>
Anexo A. Plano de ubicación de botadero .....	67
Anexo B. Encuesta de diagnóstico situacional del manejo de residuos sólidos.....	68
Anexo C. Manual de operación de la celda.....	70
Anexo C. Panel fotográfico del proceso de investigación.....	73

## Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas mínimas de geomembrana .....	26
Tabla 2. Generación per cápita (GPC) de los residuos sólidos domiciliarios. ....	30
Tabla 3. Registro de pesos por componentes de residuos. ....	32
Tabla 4. Generación proyectada de residuos por giro de los establecimientos comerciales de la ciudad de Moyobamba.....	33
Tabla 5. Generación total de residuos sólidos del distrito de Moyobamba.....	35
Tabla 6. Datos históricos de población del distrito de Moyobamba .....	53
Tabla 7. Comparativa de métodos para tasa de crecimiento poblacional.....	53
Tabla 8. Proyección de la población urbana distrito de Moyobamba .....	54
Tabla 9. Proyección de la generación total de residuos sólidos del distrito de Moyobamba ....	55
Tabla 10. Volumen de residuos sólidos y material de cobertura del distrito de Moyobamba ..	55
Tabla 11. Área requerida para disposición final de residuos sólidos del distrito de Moyobamba.....	56
Tabla 12. Estimación de la celda diaria para la disposición final de residuos sólidos .....	56
Tabla 13. Generación de lixiviados-Modelo Suizo .....	58

## Índice de figuras

Figura 1. Mapa nacional de ubicación de infraestructuras de disposición final.....	10
Figura 2. Cantidad de desechos generados por país (Kilogramo/per cápita/al día) .....	11
Figura 3. Valor promedio de generación de residuos sólidos urbanos en el Perú.....	12
Figura 4. Método de trinchera para construir un relleno sanitario .....	18
Figura 5. Método de área para construir un relleno sanitario.....	18
Figura 6. Método combinado (área y trinchera).....	19
Figura 7. Composición física de los residuos sólidos domiciliarios (% peso).....	33
Figura 8. Resultados del ítem 01 .....	45
Figura 9. Resultados del Item 02 .....	45
Figura 10. Resultados del Item 03 .....	46
Figura 11. Resultados del Item 04 .....	46
Figura 12. Resultados del Item 05 .....	47
Figura 13. Resultados del Item 06.....	47
Figura 14. Resultados del Item 07 .....	48
Figura 15. Resultados del Item 08.....	48
Figura 16. Resultados del Item 09.....	49
Figura 17. Resultados del Item 10.....	50
Figura 18. Resultados del Item 11 .....	50
Figura 19. Resultados del Item 12.....	51
Figura 20. Resultados del Item 13 .....	51
Figura 21. Resultados del Item 14.....	52
Figura 22. Resultados del Item 15.....	52
Figura 23. Curva de crecimiento poblacional.....	54
Figura 24. Isométrico de celda diaria promedio .....	57
Figura 25. Frente de trabajo diario en el botadero.....	57

## Resumen

En la presente investigación el objetivo principal fue elaborar una propuesta de diseño de celdas para la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba - San Martín, 2018. Para ello se han utilizado los criterios de diseño como población, características del terreno, generación domiciliaria per cápita (Gpc) con la validación respectiva, y las características de los residuos sólidos; quienes determinaron que los resultados del dimensionamiento sean óptimos, obteniendo un modelo variable en función al volumen diario y anual generado, con un ancho de 15m, un avance de celda diaria de 12m y una altura de 0.8m, constituido por 0.60m de residuo sólido para una buena compactación y 0.20m de material de cobertura diaria. Dimensionado el modelo de celda, ésta tiene funcionabilidad, porque constituye a minimizar los impactos ambientales generados por la disposición final de residuos sólidos, además de la elaboración del manual de operación de la misma para finalmente implementar y poner su ejecución como corresponde en situ. Por su parte el estado situacional de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba es deficiente, actualmente se vienen desarrollando las actividades del manejo integral de residuos sólidos sin contar con las herramientas y procedimientos adecuados, lo cual se ve reflejada en la calidad del servicio y la inadecuada disposición final en un botadero a cielo abierto.

**Palabras clave:** Diseño, celda, disposición final, residuos sólidos, botadero.

## Abstract

The main objective of the present research was to develop a design proposal for a garbage container for the final disposal of municipal solid waste in the city of Moyobamba - San Martin, 2018. To reach this purpose, design criteria such as population, terrain characteristics, per capita household generation (Gpc) with the respective validation, and the characteristics of solid waste have been used; which determined optimal sizing results, obtaining a variable model according to the daily and annual volume generated, with a width of 15m, a daily garbage container advance of 12m and a height of 0.8m, constituted by 0.60m of solid waste for good compaction and 0.20m of daily cover material. Once the garbage container model has been dimensioned, its functionality is evidenced, because it minimizes the environmental impacts generated by the final disposal of solid waste, in addition to the preparation of its operation manual to finally implement and execute it on site. The current situation of integrated municipal solid waste management in the city of Moyobamba is deficient, as solid waste management activities are being carried out without adequate tools and procedures, which is reflected in the quality of the service and the inadequate final disposal in an open dump.

**Key words:** Design, garbage container, final disposal, solid waste, solid waste, landfill.



## **Introducción**

Los residuos existen desde que nuestro planeta tiene seres vivos, hace unos 4.000 millones de años. Antiguamente, la eliminación de los residuos humanos no planteaba un problema significativo, ya que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de los residuos era grande. Sin embargo, la problemática de los residuos comienza con el desarrollo de la sociedad moderna en la que vivimos, no sólo en el aspecto referido a la cantidad de residuos que ésta genera (difícilmente asimilable por la naturaleza), sino, y de manera importantísima, a la calidad de los mismos (Garrigues, 2003). Este problema de la gestión de nuestros residuos existe y se agrava año tras año. Ante tal situación, resulta importante analizar los factores que han incrementado de manera tan alarmante el problema de los residuos urbanos (MOPT, 1992)

Uno de los problemas más graves relacionados con el manejo de los residuos sólidos en el Perú es su disposición final. Es común observar que las ciudades aunque tengan un apropiado sistema de recolección de residuos sólidos éstos son dispuestos en los ríos, el mar, las quebradas y espacios públicos en general. La práctica de disponer los residuos en lugares abiertos comúnmente denominados botaderos, es altamente nociva para el ambiente y pone en grave riesgo la salud de la población.

Los botaderos se pueden convertir en rellenos sanitarios o ser clausurados de modo tal que el lugar quede plenamente rehabilitado sin contaminación ambiental; sin embargo, en el Perú existen muy pocas experiencias de este tipo porque la disposición final de los residuos sólidos ha sido un tema que no ha tenido prioridad en las municipalidades y tampoco en la población local.

De acuerdo al informe del estado actual de la gestión de los residuos sólidos municipales en el Perú, se generan por día 20.000 toneladas de ellos los habitantes de la costa son los que producen la mayor cantidad de basura en el Perú. Según Decreto Legislativo N° 1278 que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos, son los gobiernos locales los que tienen la misión de orientar a los pobladores hacia buenas prácticas en el manejo de residuos. Los municipios se hacen cargo a través de la implementación de proyectos integrales que buscan desarrollar capacidades de educar a los ciudadanos y ciudadanas asignando recursos que permitan reducir, reusar y reciclar residuos sólidos, así como educarlos para rechazar su generación y reflexionar acerca de estos temas.

La ciudad de Moyobamba no es ajena al problema de los residuos sólidos, ya que actualmente se le da una inadecuada disposición final, incluyendo la baja educación sanitaria y ambiental por parte de la población, ocasionándose así un tema complejo de solucionar por parte de la municipalidad provincial de Moyobamba el que actualmente administra un botadero a cielo abierto y que se ha convertido en un foco infeccioso debido a la proliferación de vectores (moscas, gallinazos, etc.) que atentan contra la salud pública considerando que hay poblaciones a menos de 1 km, ante ello se requiere de plantear alternativas de solución compatibles con el medio ambiente y acordes con la normatividad vigente.

Formulando así el siguiente problema: ¿En qué medida la propuesta de diseño de celdas contribuirá a mejorar la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba?.

Los problemas generados por la mala disposición de los residuos sólidos en la ciudad de Moyobamba, ha ocasionado que el botadero municipal esté a punto de llegar a su vida útil máxima ya que en la actualidad los desechos son dispuestos de una forma inadecuada, como consecuencia a llevado a que se emplee mayor cantidad de material de cobertura, tiempo de maquinaria, recicladores informales, etc. Por ello la presente investigación se justifica porque se enfoca en el diseño de una celda diaria de confinamiento para los residuos sólidos; el mismo que, está encaminado a prolongar la vida útil del actual botadero municipal de la ciudad de Moyobamba y dichos residuos sean confinados de forma correcta, para así evitar los impactos ambientales generados, ya que la operación de la celda consta de varias etapas como son la descarga de los vehículos recolectores en el frente de trabajo, el empuje de los desechos, la compactación y conformación de la celda, la cobertura, sistemas de recolección de lixiviados y de gases los cuales van a ser tratados después de su generación, a esto se suma la fumigación constante de cocteles bacterianos para el control de olores así como para acelerar el proceso de degradación de la materia orgánica.

El objetivo principal de la presente investigación fue elaborar una propuesta de diseño de celdas para la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba, la cual se logró mediante los objetivos específicos como: 1) evaluar el estado situacional de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba, 2) evaluar los criterios de diseño de celdas para disposición final de residuos

sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba y 3) proponer un modelo de diseño de celdas para la disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba.

Además, se planteó la siguiente hipótesis: La propuesta de diseño de celdas en el botadero municipal, mejora la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba.

La estructura de la tesis comprende: capítulo I, revisión bibliográfica, en la cual se recabó información e investigaciones realizadas anteriormente de las cuales se basó la investigación; capítulo II, material y métodos, en los cuales se detalla los procedimientos realizados para el diseño de la celdas; capítulo III, resultados y discusión, en los cuales se muestra y explica los resultados obtenidos; asimismo, se realiza la discusión de los resultados con respecto a anteriores investigaciones, además las conclusiones, recomendaciones y anexos respectivamente.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### A nivel internacional

En el trabajo de investigación titulado “Propuesta de diseño de plataforma de disposición final de desechos sólidos en el botadero controlado del cantón Pastaza con un tiempo de vida útil de 3 años” a través de la identificación y valoración de impactos se determinó los problemas ambientales que actualmente ocasiona al medio ambiente el botadero controlado del cantón Pastaza debido a la inadecuada forma de disposición final de los mismos, concluyendo que del 36% de las actividades que comprenden las etapas del proyecto tienen una magnitud media de impacto, el 57% tienen una magnitud alta, el 40% de las actividades son de carácter positivo, es decir, la construcción del proyecto promoverá un buen manejo de los residuos, apenas un 60% de las actividades poseen un alto nivel de importancia, el resto de actividades tienen una importancia baja y media, el 57% de las actividades tendrán un impacto permanente en el ambiente. Pese a que las actividades de construcción, en su mayoría son de carácter negativo, las celdas de disposición de residuos significarán un componente primordial en el manejo integral de desechos del cantón Pastaza.

En el trabajo de investigación “Evaluación técnica, económica y ambiental de la gestión de residuos sólidos en gobiernos autónomos descentralizados con población menor a 60000 habitantes” mediante la recopilación de datos por medio de una encuesta realizada a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) y visitas técnicas a los mismos, se establece un modelo de gestión limpia, en la cual se fundamenta en la manipulación y disposición de residuos sólidos separados. Dicho modelo de gestión limpia establece que la disposición de residuos orgánicos puede tener varios fines como es la alimentación animal, la lombricultura y el compostaje. De estas alternativas se diseña un modelo de una planta de compostaje. Mientras que los residuos inorgánicos que no pueden ser reutilizados y reciclados tendrán una disposición final; se diseña un modelo de celda de residuos sólidos para dicha disposición final. Los residuos sólidos hospitalarios y/o peligrosos también tendrán su celda respectiva. Así como el diseño del dimensionamiento de la encapsulación de pilas.

En el trabajo de investigación “Diseño de una celda diaria de confinamiento de residuos sólidos para el actual relleno sanitario del Tena” donde el diseño de la celda diaria tiene como objetivo minimizar los impactos ambientales generados por la disposición final de residuos sólidos, para lo cual, se determinó la producción per cápita (PPC) y la cantidad de basura generada en el cantón, con estos datos se procedió al dimensionamiento de la celda diaria, así como también a la elaboración del manual de operación de la misma, para finalmente implementar y poner en ejecución la misma.

### **A nivel nacional**

En el trabajo de investigación titulada “Contaminación atmosférica producida por la quema de asura en las pampas de Reque”, realizaron un estudio de los más graves problemas sanitarios que afectan a la ciudad de Chiclayo, constituidos por la mala disposición final de los residuos sólidos, los cuales son arrojados en las pampas de Reque, los mismos que son luego incinerados, conluciendo a la liberación de peligrosos contaminantes, constituyendo un grave problema sanitario, causantes de efectos adversos al medio ambiente. La quema de basura constituye un problema de contaminación ambiental importante a tomar en cuenta en Chiclayo, percibiéndose la falta de interés por falta de las autoridades para dar solución a este problema ambiental que se agudiza cotidianamente.

En el trabajo de investigación titulada “Diseño de proceso para tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) generados en el cono norte de la ciudad de Lima”, se propone un proceso para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos generados en el cono norte de la ciudad de Lima. La planta se instalará en el distrito de Puente Piedra, región de Lima. La capacidad de tratamiento es de 1500 TM/día y se produce etanol, metano y diésel 2 como productos de valor agregado, asimismo se logra una reducción superior al 80% en volumen de RSU desitnado actualmente a la disposición final de los rellenos sanitarios de Zapallal y La Vizcacha. El impacto de la implementación de este proceso será positivo tanto en los aspectos tecnológicos, económicos y ambientales.

### **A nivel local**

En la tesis titulada “manejo de residuos sólidos en la ciudad de Calzada” se arribó a las siguientes conclusiones: El sistema actual de manejo de residuos sólidos urbanos se viene realizando de manera empírica, sin criterios técnicos en todas sus etapas debido al manejo

burocrático, a la falta de planeamiento y a la carencia de profesionales que tengan conocimientos de estrategias y técnicas orientadas a la gestión de residuos sólidos. El ruteo de recolección actual no es el más adecuado, ya que se realiza en un tiempo menor a 6 horas aproximadamente, donde el vehículo recolector hace muchas marionetas innecesarias como vueltas en U, muchos retrocesos, debido a que en la actualidad no se cuenta con un itinerario de recolección. La disposición final de los residuos sólidos urbanos se está realizando sin control, donde se calcula que en un periodo corto se convertirá en un foco infeccioso y proliferación de vectores causantes de enfermedades.

## **1.2. Marco teórico**

### **Residuos urbanos**

El más conocido desecho urbano es el proveniente de fuentes domésticas, comerciales e industriales; tales desechos incluyen, latas, botellas, papeles, plásticos, automóviles convertidos en chatarra, residuos sólidos y artículos de consumo usados. Entre los desechos de cocina están los desechos de alimentos vegetales, residuos de carne, grasa de frituras, cortezas de cítricos y otras frutas; entre los desechos de papel y productos de papel tenemos: cartón, periódicos, revistas, papel de envoltura, cartas, recipientes para alimentos, papel higiénico, papel de recubrimiento, papel encerado, papeles para regalos, etc., cuando se recogen estos desechos, casi siempre se disponen sobre la tierra en algún lugar lejano de las zonas urbanas.

### **Residuos Sólidos**

Son materiales desechados que, por lo general, carecen de valor económico para el común de las personas y se les conoce coloquialmente como “basura”. También, se encuentran dentro de esta categoría, los materiales semisólidos (como el lodo, el barro, la sanguaza, entre otros) y los generados por eventos naturales.

De acuerdo al Decreto Legislativo N° 1278 que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se considera como residuos sólidos a cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos y en último caso, su disposición final.

Los residuos sólidos incluyen todo residuo o desecho en fase sólida o semisólida. También se considera residuos aquellos que siendo líquido o gas se encuentran contenidos en recipientes o depósitos que van a ser desechados, así como los líquidos o gases, que por sus características fisicoquímicas no puedan ser ingresados en los sistemas de tratamiento de emisiones y efluentes y por ello no pueden ser vertidos al ambiente. En estos casos los gases o líquidos deben ser acondicionados de forma segura para su adecuada disposición final.

### **Clasificación de los residuos sólidos**

Según el Decreto Legislativo N° 1278 los residuos se clasifican, de acuerdo al manejo que reciben, en peligrosos y no peligrosos, y según la autoridad pública competente para su gestión, en municipales y no municipales.

En función a su manejo y gestión los residuos sólidos se clasifican en: De gestión municipal (No peligrosos) y de gestión no municipal en (Peligrosos y no peligrosos). Los residuos de gestión municipal son de origen doméstico (restos de alimentos, papel, botellas, latas, pañales descartables, entre otros); comercial (papel, embalajes, restos del aseo personal, y similares); aseo urbano (barrido de calles y vías, maleza, entre otros); y de productos provenientes de actividades que generen residuos similares a estos, los cuales deben ser dispuestos en rellenos sanitarios. Residuos peligrosos de gestión NO municipal son aquellos que, debido a sus características o al manejo al que deben ser sometidos, representan un riesgo significativo para la salud o el ambiente por presentar al menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad. Por ejemplo, los residuos metálicos que contengan plomo o mercurio, los residuos humanos provenientes de establecimientos de salud, los residuos de plaguicidas, los herbicidas, los residuos provenientes de la fabricación de productos químicos, los residuos con cianuro, entre otros. Cada uno de ellos debe ser dispuesto en los rellenos de seguridad. Los residuos NO peligrosos de gestión NO municipal son aquellos que no se pueden clasificar en ninguno de los dos tipos de residuos antes mencionados y que, por lo general, cuentan con una regulación propia. Por ejemplo, los desechos de las actividades de la construcción y demolición, los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE, y los residuos industriales. Asimismo, su fiscalización dependerá del sector industrial que genera dichos residuos.

Dentro de las normas generales para el manejo de los desechos sólidos no peligrosos se plantea una clasificación específica de la siguiente manera:

De acuerdo a su origen:

Desecho sólido domiciliario.

Desecho sólido comercial.

Desecho sólido de demolición.

Desecho sólido del barrido de calles.

Desecho sólido de la limpieza de parques y jardines.

Desecho sólido hospitalario.

Desecho sólido institucional.

Desecho sólido industrial.

Desecho sólido especial.

Según sus potenciales efectos derivados en el manejo se clasifican en:

**Por estado:** Un residuo es definido por estado, según el estado físico en que se encuentre.

Pudiendo ser: sólidos, líquidos y gaseosos.

**Tipo de manejo:** Se puede clasificar un residuo por presentar algunas características asociadas al manejo que debe ser realizado.

**Residuo peligroso:** Son residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; y son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

**Residuo inerte:** Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

Por la fuente:

**Doméstica, comercial e institucional:** Son los residuos que se extraen de las viviendas, tiendas, restaurantes, mercados, oficinas, hoteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos, escuelas, hospitales, cárceles y centros gubernamentales como los residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, madera, vidrio, electrodomésticos, baterías, pilas, aceites, neumáticos y metales.

**Construcción y demolición:** En estos lugares encontramos desechos como arena, piedras, excremento, plásticos, ya que son provenientes de las construcciones, reparaciones, renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.

**Plantas de tratamiento:** En este se encuentra las aguas residuales y procesos de tratamiento industrial. En estos lugares se presentan residuos de plantas de tratamiento, compuestos principalmente por fangos.

**Residuos sólidos urbanos:** En esta clasificación encontramos los residuos que se encuentran en la ciudad y que provienen de diferentes lugares en general. Por ejemplo: cartón, plástico, metal, vidrios.

**Industrial:** Son los residuos que se extraen de las áreas de construcción, fabricación ligera y pasada, refineras, plantas químicas, centrales térmicas, demolición. Por ejemplo: Los residuos de procesos industriales y materiales de chatarra (demolición, domésticos).

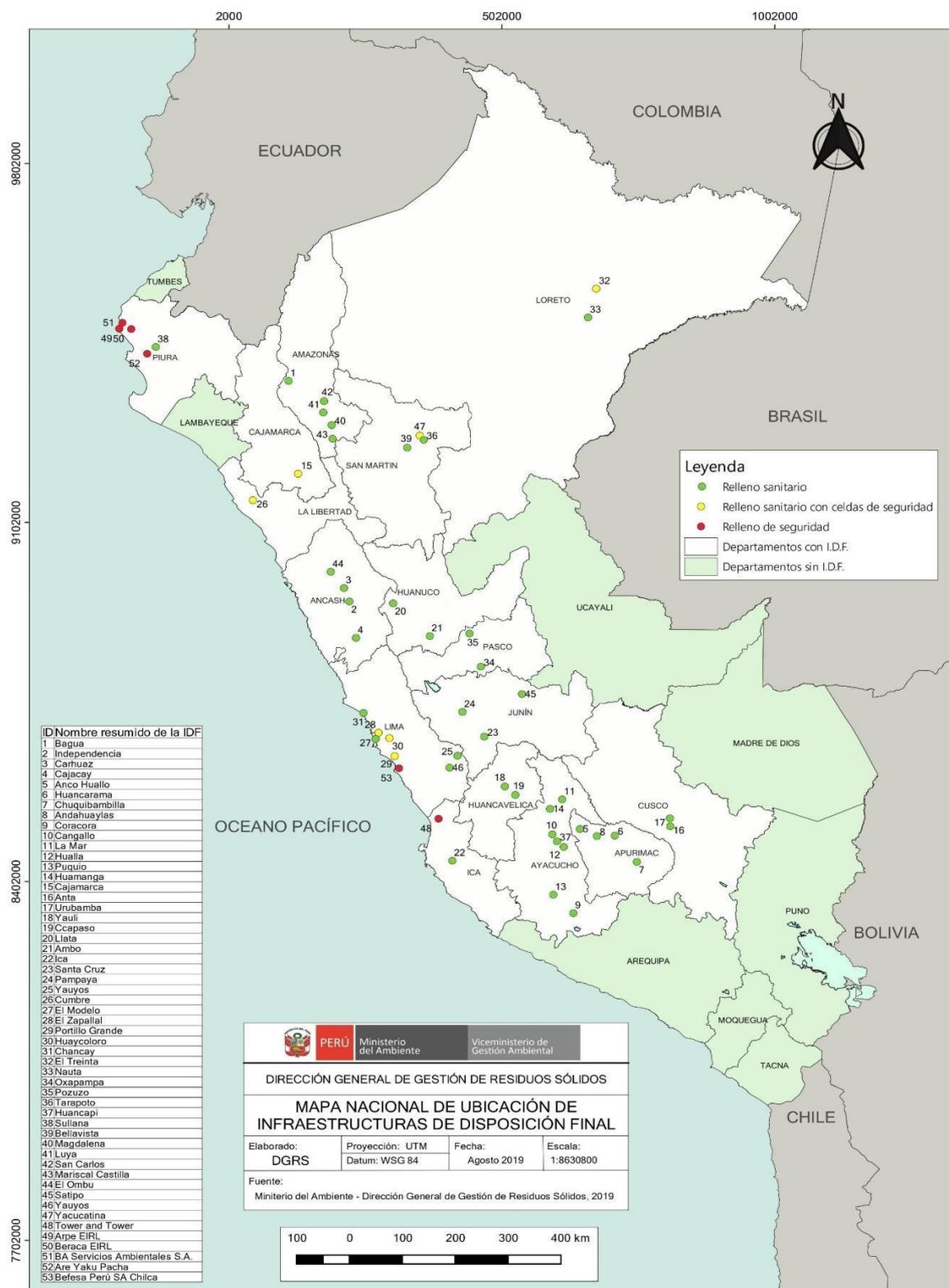
**Agrícolas:** Los residuos que encontramos en las cosechas del campo, árboles frutales, ganadería intensiva, granjas, son residuos de comida, residuos agrícolas, basuras y residuos peligrosos.

### **Situación del manejo de residuos sólidos en el Perú**

El Manejo de los residuos sólidos en el Perú cuando es realizado por una persona natural o jurídica debe ser sanitaria o ambientalmente adecuado, con sujeción a los principios de prevención de impactos negativos y protección de la salud, conforme lo establece la ley y los lineamientos de la política nacional del ambiente del estado peruano. El Perú al igual que muchos países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido a que el estado ambiental cambia por el crecimiento de las poblaciones concentradas hacia grandes ciudades como en los casos de Lima, Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo, entre otros, teniendo como causa principal la migración de las zonas rurales a las ciudades. Asimismo, la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación de alerta en relación al manejo de los residuos sólidos en nuestro país. (MINAM, 2008, p. 11).

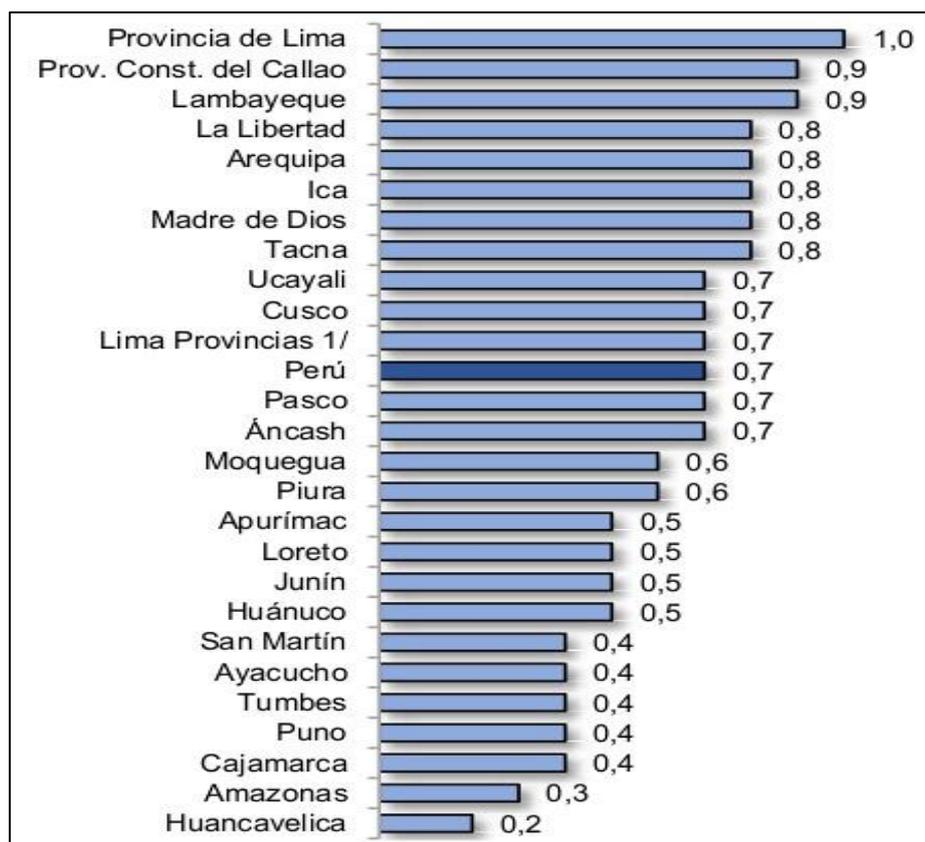
En la actualidad se estima que la producción total de esos desperdicios supera las 22 mil 475 toneladas diarias en el país, y sólo el 17 % de la generación diaria es dispuesta en rellenos sanitarios. En consecuencia, es previsible determinar que el 83% es destinado a lugares inadecuados, causando daño al ambiente y la salud humana. 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 a incluido el marco normativo institucional de los Residuos Sólidos en el Perú, el desarrollo de políticas para reducir la generación de los residuos, la

promoción para la implementación de plantas de aprovechamiento y el fortalecimiento de las capacidades municipales en la gestión y manejo de los residuos sólidos (MINAM, 2008, p.11



**Figura 1.** Mapa nacional de ubicación de infraestructuras de disposición final. (Fuente: SINIA, 2019).





**Figura 3.** Valor promedio de generación de residuos sólidos urbanos en el Perú. (Fuente: INEI, 2017).

En consecuencia, podemos observar que la generación per cápita en las principales ciudades de nuestro país está entre los rangos de 0.20 Kg. /hab./día hasta 1.0 Kg. /hab./día tal es el caso de la ciudad de provincia de Lima, otras ciudades como, Cajamarca, Piura, Huancavelica y la Libertad, la generación promedio de residuos sólidos domiciliarios es de 0.4 Kg. /hab./día, y 0.6 Kg. /hab./día, 0.2 Kg. /hab./día y 0.8 Kg. /hab./día respectivamente.

### **Residuos sólidos municipales**

Para Jaramillo (1999) los residuos sólidos municipales (RSM) son aquellos que provienen de las actividades domésticas, comerciales, industriales (pequeña industria y artesanía), institucionales (administración pública, establecimientos de educación, etc.), de mercados, y los resultantes del barrido y limpieza de vías y áreas públicas de un conglomerado urbano, y cuya gestión está a cargo de las autoridades municipales.

El problema de los RSM está presente en la mayoría de las ciudades y pequeñas poblaciones por su inadecuada gestión y tiende a agravarse en determinadas regiones como consecuencia de múltiples factores, entre ellos, el acelerado crecimiento de la población y su

concentración en áreas urbanas, el desarrollo industrial, los cambios de hábitos de consumo, el uso generalizado de envases y empaques y materiales desechables, que aumentan considerablemente la cantidad de residuos.

### **Gestión de residuos sólidos municipales**

La gestión de residuos se define como el conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos producidos en una zona determinada el destino más adecuado desde el punto de vista económico y ambiental, según sus características, volumen, procedencia, posibilidades de recuperación y comercialización, coste de tratamiento y normativa legal (Jaramillo, 1999).

Según la gestión de residuos sólidos municipales lo conforma:

**Generación:** Es la acción de identificar ciertos elementos como innecesarios, sin valor para lo que fueron concebidos originariamente. Para su análisis es importante conocer: La tasa de generación de RSU, la misma varía de acuerdo con el estrato social, las características fundamentales de la zona en estudio, si es principalmente domiciliaria, comercial e industrial. También sufre una variación de acuerdo a la época del año y asimismo ante situaciones económicas y sociales. Conocer correctamente la tasa de generación de RSU, sus variaciones y su proyección en el tiempo nos permitirá prever y dimensionar de la mejor manera posible las herramientas, vehículos, maquinarias e instalaciones en general a utilizar.

**Su composición:** Referida al tipo de residuo que se desecha y los porcentajes de los materiales que la componen. La misma dependerá fundamentalmente del nivel de vida de la población, sus ingresos económicos, de los servicios básicos con los que cuenta, de la época del año, del clima y de un componente sociocultural marcado por los hábitos de consumo.

Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento en origen:

**Manipulación:** Es el ciclo de los RSU desde que se identifican como innecesarios hasta que se eliminan o abandonan en el sitio de recolección.

**Separación en origen:** En el domicilio se pueden desarrollar acciones tales como separación en diferentes tipos de residuos: orgánicos e inorgánicos; reciclable y no reciclable, secos y húmedos.

**Almacenamiento:** Se denomina así al tiempo y a la forma en que debemos convivir con los RSU generados hasta que son depositados para su recolección.

**Procesamiento en origen:** Comprende las acciones que podemos realizar en nuestro domicilio una vez hecha una valorización previa de los desechos, tendiente a disminuir la cantidad de RSU que depositaremos en la vía pública. Estas pueden materializarse como realización de compostaje con los restos orgánicos, reutilización de algunos elementos (papel, vidrio, plásticos, metales, etc).

**Disposición inicial:** Es la acción y forma de depositar los RSU en la vía pública para su posterior recolección. La misma puede tener características diferentes, pero sumamente importantes en la definición de una gestión de RSU. Puede ser:

**General:** Sin clasificación y separación de residuos.

**Selectiva domiciliaria:** Con clasificación y separación de residuos en los domicilios.

**Selectiva no domiciliaria:** Contenedores públicos para determinados tipos de RSM.

**Recolección:** Es el transporte desde el punto de generación hasta su puesto de transferencia, de separación, de procesamiento o el sitio de disposición final.

**General:** Es la recolección desde el punto de disposición inicial sin clasificación y separación de los residuos.

**Selectiva:** Es la recolección desde el punto de disposición inicial ya clasificado el residuo mediante una separación valorativa en el domicilio de generación de los mismos.

**Separación, procesamiento y transformación:** Es conveniente contar con un sitio, que por lo general se llamará planta de tratamiento de los RSU, para la separación y procesamiento de los mismos antes de su disposición final.

La misma deberá encontrarse lo más cerca posible del sitio de disposición final de acuerdo con la disponibilidad de terreno para tal fin. Deberá contar con espacio suficiente para realizar las tareas de acuerdo con las cantidades y volúmenes de RSU a procesar. En primera instancia, en dicha planta los RSU podrán ser separados y clasificados en orgánicos e inorgánicos.

El residuo orgánico se prepara para su posterior etapa de compostaje y su etapa de lombricomposteo. Los residuos inorgánicos se clasifican y se separan de acuerdo con sus características y se acopian para su posterior preparación según las distintas formas de comercialización.

**Compostaje:** En la etapa de transformación, se requieren de procesos químicos, físicos o biológicos para lograr productos aprovechables, como ser abonos orgánicos elaborados a partir de los restos de comida y podas mediante compostaje, ya sea aeróbico o En este último caso, es posible en forma complementaria (por medio de biodigestores) la producción de energía (biogás) aprovechable en distintos consumos tradicionales.

**Lombricompuesto:** Es la etapa de proceso final a los efectos de mejorar la calidad del compostaje y darle características de humus al mismo, mejorando su estabilización, heterogeneidad orgánica y calidad de abono, utilizando para ello lombrices.

**Disposición final:** Es la acción de depositar en forma permanente los RSU y las fracciones no recuperables de estos de los tratamientos adoptados, en un lugar determinado.

### **Tratamiento de residuos sólidos municipales**

Conjunto de procesos y operaciones mediante los cuales se modifican las características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, con la finalidad de reducir su volumen y el riesgo para la salud del hombre, los animales y la contaminación del medio ambiente.

### **Botadero**

El Ministerio del Ambiente define al botadero como un área de disposición final de residuos sólidos sin control, en el cual dichos residuos se arrojan en el suelo sin tener en cuenta los procedimientos técnicos de un relleno sanitario; los rellenos sanitarios indebidamente diseñados o mal operados pueden tener muchas de las características de un botadero. En cualquier caso, presentan u ocasionan impactos ambientales adversos, especialmente sobre el suelo, el agua, el paisaje y la comunidad, es decir, los botaderos presentan tantas deficiencias y problemas que las únicas posibilidades sean su saneamiento y clausura, y después su remplazo por una instalación de disposición final (MINAM, 2008).

### **Relleno Sanitario**

Jaramillo (1999) se define al relleno sanitario como una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Un relleno sanitario es un método de disposición sanitaria de basura que evita problemas de **Salud:** Eliminando criaderos de mosquitos, moscas, ratas, ratones, los cuales sirven de vectores o huéspedes de algunas enfermedades en seres humanos como: Tifoidea, salmonelosis, disenterías, etc.

**Sociales:** El alto índice de desocupación plantea como alternativas el trabajo en los basureros, donde se recupera en condiciones insalubres una serie de elementos (papeles, cartones, botellas, metales, plásticos) que pueden ser incorporados al proceso productivo.

**Ambientales:** La basura produce contaminación del aire, agua y suelo. Los botaderos a cielo abierto, no solamente contaminan el suelo y las aguas superficiales y subterráneas sino también el aire con olores y humos por la combustión incompleta que se efectúa.

### **Infraestructuras de disposición final**

Según el Reglamento del D.L. 1278 (D.S. 014-2017-MINAM) son consideradas infraestructuras de disposición final de residuos sólidos los rellenos sanitarios, los rellenos de seguridad y las escombreras.

Los rellenos sanitarios se clasifican en:

- i. Relleno sanitario manual**, cuya capacidad de operación diaria no excede a seis (06) toneladas métricas (TM);
- ii. Relleno sanitario semi-mecanizado**, cuya capacidad de operación diaria es más de seis (06) hasta cincuenta (50) TM; y
- iii. Relleno sanitario mecanizado**, cuya capacidad de operación diaria es mayor a cincuenta (50T) M.

En los rellenos de seguridad se realiza la disposición final de residuos sólidos no municipales peligrosos. Para el caso de los residuos sólidos no peligrosos provenientes de las actividades de la construcción y demolición, la infraestructura de disposición final se denomina escombrera.

### **Relleno sanitario manual**

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen (menos de 15 t/día), además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación

de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutado con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

### **Relleno sanitario semi – mecanizado**

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 Toneladas diarias de RSM en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno.

### **Relleno sanitario mecanizado**

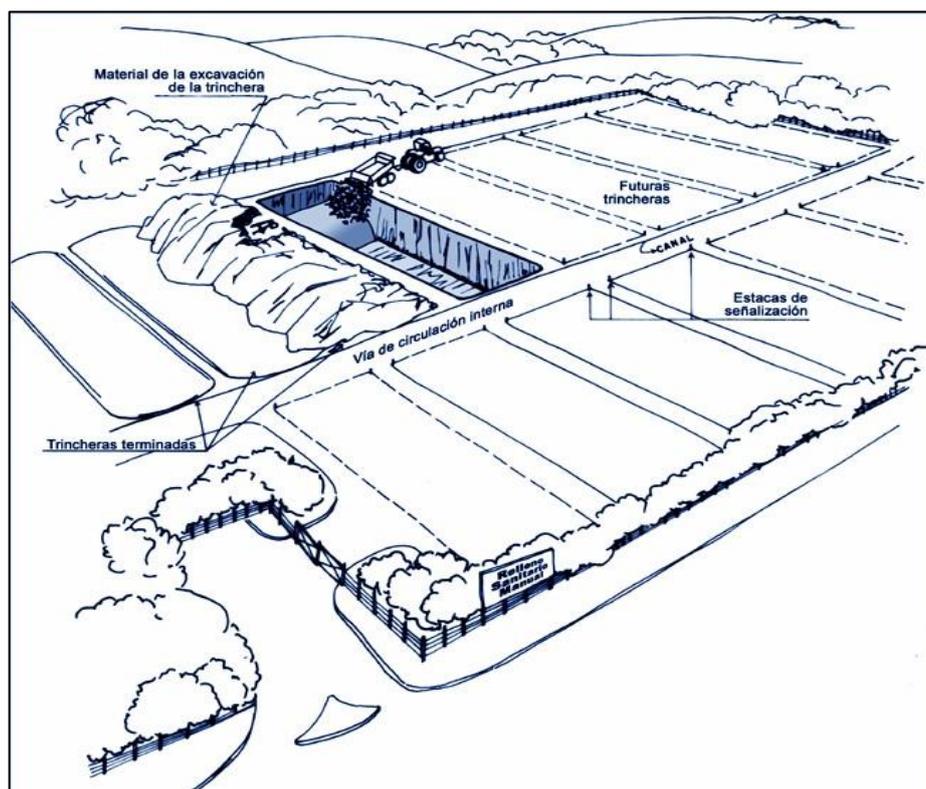
Diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 Toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento. Para operar este tipo de relleno sanitario se requiere del uso de un compactador de residuos sólidos, así como equipo especializado para el movimiento de tierra: tractor de oruga, retroexcavadora, cargador, volquete, etc.

### **Métodos de construcción de un relleno sanitario**

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. Existen dos maneras básicas de construir un relleno sanitario, método de trinchera o zanja y método de área.

#### **Método de trinchera o zanja**

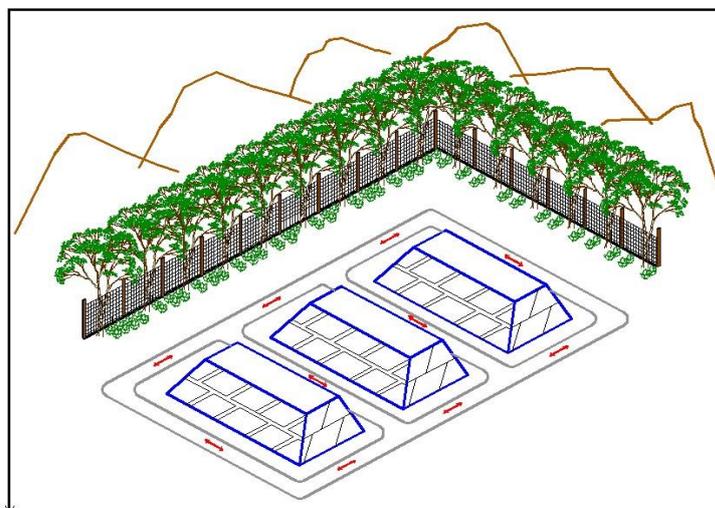
Método utilizado generalmente en terrenos con pendientes planas y suelos no rocosos para su fácil excavación, donde el nivel freático se encuentra a buena profundidad. Este método consiste en la excavación de zanjas con determinadas dimensiones, de acuerdo al diseño y a lo descrito anteriormente. Para zonas de alta precipitación se debe tener especial cuidado en el manejo de las aguas de escorrentía, ya que pueden ingresar a las trincheras (celdas) incrementando la cantidad del líquido percolado y deteriorando el sistema, por lo que el proyecto debe considerar alternativas de manejo (MINAM, 2008, pag. 44).



**Figura 4.** Método de trinchera para construir un relleno sanitario. (Fuente: Castelo, 2014).

### 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.



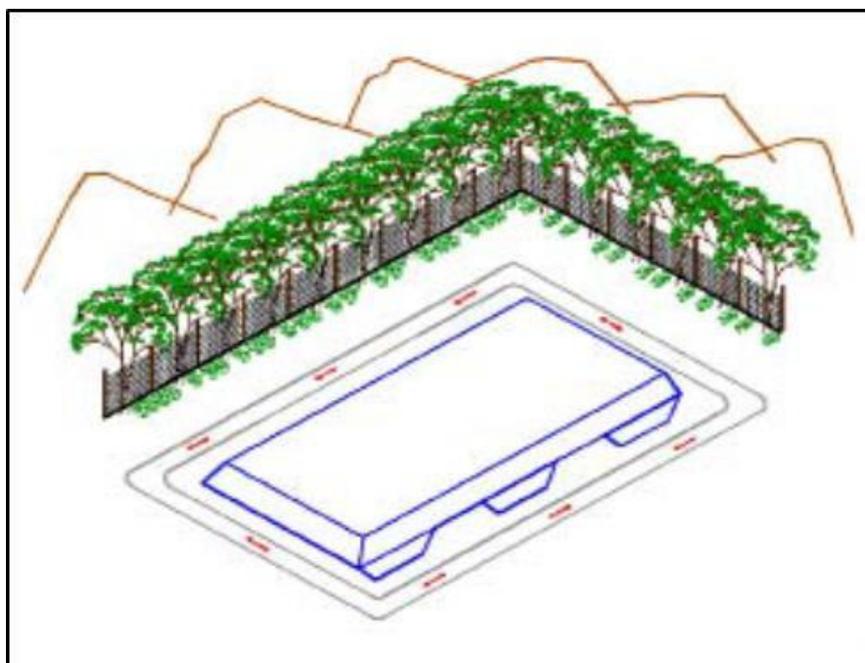
**Figura 5.** Método de área para construir un relleno sanitario. (Fuente: MINAM, 2008)

### **Método combinado (área y trinchera)**

El método combinado se aplica en terrenos planos, donde se inicia la operación por el método de trinchera culminando por el de área. Las principales ventajas de este método son los siguientes:

Empleo de menor área para lograr un mayor volumen útil de disposición final.

Busca aprovechar al máximo el material de la excavación a emplearse como cobertura. Sin embargo, sólo 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, 2008, pág. 45).



**Figura 6.** Método combinado (área y trinchera). (Fuente: Eguizabal, 2008)

### **Dimensiones de la celda**

Para efectos de la operación manual, las dimensiones de la zanja estarán limitadas por: La profundidad de la zanja, de dos a tres metros de acuerdo con el nivel freático, tipo de suelo, tipo de equipo y costos de excavación. El ancho de la zanja entre 3 y 6 metros es conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de la basura y material de cobertura, lo cual implica mejores rendimientos de trabajo, de tal manera que puede ser planeada la operación dejando un lado para acumular la tierra y el otro para la descarga de los desechos sólidos.

Dependiendo del grado de compactación y del clima, puede usarse la superficie de una zanja terminada para la descarga de los desechos.

### **El largo**

Está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja, entonces se tiene que:

$$l = \frac{Vz}{(a)(hz)}$$

Donde:

l = Largo o longitud (m)

Vz= Volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)

a = Ancho (m)

hz= Profundidad (m)

### **Volumen de la zanja**

$$VZ = \frac{t \times DSr \times MC}{Drsm}$$

Donde:

VZ = Volumen de la zanja (m<sup>3</sup>)

t = tiempo de vida útil (días)

DSr = Cantidad de desechos sólidos recolectados (kg/día)

MC = Factor de material de cobertura de 1,2 a 1,25 (o sea 20 a 25%)

Drsm = Densidad de residuos sólidos municipales (kg/m<sup>3</sup>)

### **Celda diaria**

La celda diaria o conocida como celda tipo, es la unidad básica constructiva del relleno sanitario y en ella queda completamente confinados los residuos que llegan a diario. Cuatro valores permiten definir la celda tipo, estos son: el frente de trabajo, la altura de la celda, el espesor de recubrimiento y el avance diario. Para maximizar la eficiencia de la compactación la celda se construirá con un talud en el frente de trabajo de 1:3 (1m de altura por 3 m de base). El avance diario se calcula en función de las dimensiones anteriores y el volumen de residuos a disponer. El espesor de recubrimiento queda por especificación que indica que cobertura no debe ser inferior a 15 cm.

Para la construcción de las celdas diarias de residuos, si se utiliza método mecánico, se puede alcanzar una densidad del orden de 0.6 toneladas por metro cubico.

La forma como se aborde la construcción de la celda es importante, ya que de ello dependerá en gran medida el grado de consolidación y estabilidad estructural que alcanzara el relleno.

La celda se construirá de la siguiente manera:

- a) Descargando desde la orilla, en el frente de trabajo directamente al pie del talud.
- b) Distribuyendo los residuos creando contra pendiente de aproximadamente 1m de altura por 3m de base.
- c) Compactando los residuos en capas de 40 cm aproximadamente, pasando el equipo de compactación de 3 a 4 veces sobre ellos.
- d) Repitiendo el ciclo.

### **Diseño de la celda diaria**

#### **Cálculo de la celda**

Como se sabe, las celdas están conformadas básicamente por los desechos sólidos y el material de cobertura, y serán dimensionadas con el objeto de economizar tierra, sin perjuicio del recubrimiento, y con el fin de que proporcionen un frente de trabajo suficiente para la descarga y maniobra de los vehículos recolectores. Las dimensiones y el volumen de la celda diaria dependen de factores tales como:

La cantidad diaria de desechos sólidos a disponer. El grado de compactación.

La altura de la celda más cómoda para el trabajo manual.

El frente de trabajo necesario que permita la descarga de los vehículos de recolección. Se recomienda mantener una altura de un metro con un máximo de metro y medio, para la celda diaria, debido a la baja compactación alcanzada por la operación manual, brindando así una mayor estabilidad mecánica a la construcción del relleno sanitario manual, y un frente de trabajo lo más estrecho posible, los cuales, junto con el avance, se calcularán dependiendo del volumen diario de desechos, así:

#### **Cantidad de desechos sólidos a disponer**

Es la cantidad total de desechos dispuestos hasta el final de la vida útil de la celda:

$$DSrs = \frac{DSp \times 7}{D ha}$$

Dónde:

DSrs = Cantidad media diaria de DS en el relleno sanitario (kg/día)

DSp = Cantidad de DS producido por día (kg/día)

D ha = Días hábiles o laborales en una semana (normalmente D ha= 5 ó 6 días, y aún menos en los municipios más pequeños).

### **Volumen de la celda diaria**

Se refiere al volumen que ocuparan los desechos:

$$Vc = DSrs / Drsm \times FMC$$

Donde:

Vc = Volumen de la celda diaria (m<sup>3</sup>).

Drsm = Densidad de los desechos sólidos recién compactados en el relleno sanitario manual, 400-500 kg/m<sup>3</sup>

FMC = Factor de material de cobertura (1.20 – 1.3)

Debe notarse que la densidad usada para la basura recién compactada es menor que la densidad de la basura estabilizada que se usa para el cálculo del volumen.

### **Cálculo de la generación de lixiviado o percolado**

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

Precipitación pluvial en el área del relleno.

Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea. Evapotranspiración.

Humedad natural de los RSM.

Grado de compactación.

Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).

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

Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla, el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

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

Donde:

$Q_m$  = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado

(L/seg)  $P$  = Precipitación media anual (mm/año)

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

$t$  = 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  $t/m^3$ , se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% ( $k = 0,25$  a  $0,50$ ) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico  $> 0,7 t/m^3$ , se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% ( $k = 0,15$  a  $0,25$ ) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

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

criterio es importante a la hora de estimar la red de drenaje o almacenamiento de lixiviado para los rellenos sanitarios manuales.

### **Volumen de lixiviado**

Si lo anterior no es suficiente, la mayor cantidad posible del lixiviado generado se almacenará en zanjas en el interior del relleno sanitario, a manera de falso fondo, y el resto se guardará en otras fuera del relleno para que se evapore.

Progresivamente se construirán más zanjas según las necesidades locales. El volumen de lixiviado se estima con la siguiente ecuación:

$$V = Qt$$

Donde:

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (m<sup>3</sup>/mes)

t = Número máximo de meses con lluvias consecutivas (mes)

### **Longitud del sistema de zanjas para el lixiviado**

Con el caudal obtenido se pueden calcular las dimensiones del sistema de zanjas para el almacenamiento de lixiviados, tal como se indica en la siguiente ecuación. Las zanjas deberán tener por lo menos un ancho de 0,6 metros por un metro de profundidad, siempre que el nivel freático este un metro ms abajo y el suelo tenga las condiciones de impermeabilidad recomendadas.

$$l = \frac{V}{a}$$

Donde:

l = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m)

V = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los periodos de lluvia (m<sup>3</sup>)

a = Área superficial d la zanja (m<sup>2</sup>).

### **Criterios de diseño**

Se propone como criterios de diseño a: la población, producción per cápita, cantidad de desechos sólidos a disponer, peso volumétrico de la basura suelta, peso volumétrico de la

basura compactada, volumen diario requerido, cantidad de material profundidad del manto freático.

### **Diseño de plataforma de disposición final**

Selección del método

Como se mencionó anteriormente puede ser:

Método de trinchera o zanja

Método de área

Combinación de ambos métodos

### **Preparación del sitio**

La preparación del terreno incluye las siguientes actividades básicas:

#### **Limpieza y desmonte**

Se realizará la limpieza y desmonte en los sitios por donde se construirán la plataforma, los drenajes, las vías, el área destinada al almacenamiento y tratamiento de lixiviados, área de compostaje, etc.; en las áreas a no ser utilizadas no se realizará la remoción de la cobertura vegetal. Se debe indicar que si se tratase de una zona boscosa se debe remover toda la vegetación con sus raíces, en el caso de árboles grandes, se deben retirar todas las raíces, rellenar con tierra y compactar.

#### **Movimiento de tierras**

El movimiento de tierras se realiza para la preparación de la plataforma, con este fin se hace un análisis de la topografía del sitio, estableciendo los sitios más adecuados y procurando el menor movimiento de tierras para la preparación de la base, con el fin de minimizar los costos disponibles.

#### **Sistema de impermeabilización**

Para la definición del sistema de impermeabilización es necesario un estudio de suelos, esto nos garantizará evitar la contaminación de las aguas freáticas y subterráneas con líquidos lixiviados. En dependencia de lo indicado con el fin de prevenir la contaminación se deberá utilizar un sistema artificial de impermeabilización consistente en geomembrana que será ubicado en toda la base de la plataforma del relleno. Los principales aspectos que se deberán tomar en cuenta para la instalación de la geomembrana son los siguientes:

Descapotar y retirar raíces de árboles y arbustos, rellenar con tierra y compactar.

Retirar cualquier material pétreo que pueda romper o maltratar la geomembrana.

Extraer los excesos de agua que se encuentren en el área de la instalación.

Comprobar el sellado de las juntas realizado por los contratistas encargados de esta actividad.

Las especificaciones técnicas mínimas que cumplirá la geomembrana a instalarse serán según Collazos (2008):

**Tabla 1**

*Especificaciones técnicas mínimas de geomembrana*

<b>PROPIEDAD</b>	<b>NORMA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
Densidad	DIN 53479 ASTM D 702	g/	0.940 – 0.964
Resistencia a la tensión (punto de rotura)	DIN 53515	N/mm <sup>2</sup>	> 24
Elongación (punto de rotura)	DIN 53515	%	> 600
Resistencia (deformación plástica)	ASTM D 638 DIN 53455	N/mm <sup>2</sup>	> 17
Elongación (deformación plástica)	ASTM D 751	%	> 19
Resistencia (propagación de rasgado)	ASTM D 1004 DIN 53515	N/mm <sup>2</sup>	> 130
Coefficiente de dilatación lineal	UNI 8202/20 DIN 53328	Mm/°C	≤ 2.2 x 10 <sup>-4</sup>

Fuente: Collazos - 2008

### **Cálculo de la cantidad de residuos a disponer**

Para proyectar la cantidad de residuos sólidos a disponer en un relleno sanitario es necesario conocer la 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.

### **Crecimiento poblacional**

El crecimiento poblacional se define como el cambio que experimenta una población en cierto lapso de tiempo. En general, existe dos formas de medir dicho cambio: de manera directa que consiste en restar a la población existente al final del periodo la población que había al inicio; o por medio de la ecuación compensadora.

Además de las formas anteriores, es posible hacer la proyección sobre la base de un supuesto matemático que suponga que el crecimiento de la misma se ajusta a una función determinada como el crecimiento geométrico o exponencial. Cabe mencionar que en estos casos también es necesario de algunos datos adicionales como: La población inicial, el periodo de tiempo entre el inicio y el final de la proyección, así como la tasa de crecimiento que es obtenida mediante el uso de la función respectiva.

Este tipo de metodología no es utilizada para proyecciones grandes, a menos que se trate de periodos cortos de tiempo o bien, cuando no se dispongan de datos confiables que permitan emplear otros procedimientos de proyección.

### **Crecimiento lineal:**

Es el más sencillo de los supuestos de ritmo de crecimiento ya que considera un crecimiento absoluto constante en el número de individuos en una población año con año o bien periodo tras periodo. La ecuación  $Pf = Pi(1 + rt)$  empleada para el cálculo es la siguiente:

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t<sub>final</sub> - t<sub>inicial</sub>) intervalo en años

Donde t = variable tiempo (en años)

### **Crecimiento geométrico:**

Este método de proyección crece más rápidamente que el lineal ya que en este caso se podría decir que la población existe o inicial se va a estar reinvirtiéndose cada intervalo de tiempo. Es decir, la población en el tiempo (t+1), va a estar dada por la población en el tiempo t multiplicada por (1+rt), la población en el tiempo (t+2) va a estar dada por la población inicial en el tiempo t y multiplicado dos veces por (1+rt) y así sucesivamente. Lo anterior se puede representar de la siguiente manera:

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

### **Generación Per Cápita (GPC)**

La estimación de la GPC se podría establecer realizando algunas mediciones de la cantidad de residuos sólidos que recolecta la municipalidad, y dividiendo dicha cantidad entre el número de habitantes.

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

Donde:

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

CRR = Cantidad de residuos recolectados (kg.)

Pob = Población (hab.)

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 pudiendo ser diaria, mensual, anual y durante el tiempo de vida útil de la infraestructura. Entonces, la estimación de la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario se obtendrá aplicando la siguiente fórmula:

$$CRD_{RSM} = GPC * Pob$$

Donde:

CRD<sub>RSM</sub>: Cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario (kg./día)

GPC: Generación per cápita (Kg./hab./día)

Pob: Población (hab.)

### **Capacidad útil del relleno (CUR)**

La capacidad útil del relleno se puede definir con precisión, sólo 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 tal sentido para el volumen mínimo útil (VMU) a considerarse es el equivalente a la suma de los volúmenes anuales de residuos dispuestos (VARD)

### **Cálculo de la vida útil**

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

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.

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 CUR. Para los fines del cálculo, es necesario conocer la CUR y tener los valores de los volúmenes anuales de residuos dispuestos (VARD) para una proyección de varios años.

### **Generación de gases**

Un relleno sanitario se comporta como un digestor anaerobio. Debido a la descomposición o putrefacción natural de los residuos sólidos, no sólo se producen líquidos sino también gases y otros compuestos. La descomposición de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio tiene dos etapas: aerobia y anaerobia.

La aerobia es aquella fase en la cual el oxígeno que está presente en el aire contenido en los intersticios de la masa de residuos enterrados es consumido rápidamente.

La anaerobia, en cambio, es la que predomina en el relleno sanitario porque no pasa el aire y no existe circulación de oxígeno, de ahí que se produzcan cantidades apreciables de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), así como trazas de gases de olor punzante, como el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y mercaptanos.

El gas metano reviste el mayor interés porque, a pesar de ser inodoro e incoloro, es inflamable tienden a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y aprovechan cualquier fisura del terreno o permeabilidad de la cubierta para salir.

### Caracterización de residuos sólidos

Según el estudio de caracterización del 2016 tenemos:

**Tabla 2**

*Generación per cápita (GPC) de los residuos sólidos domiciliarios*

Nº de viv.	Código	Número de habitantes	Generación de Residuos Sólidos Domiciliarios								Generación per cápita <sup>1</sup> Kg/persona/día
			Día 0 Kg	Día 1 Kg	Día 2 Kg	Día 3 Kg	Día 4 Kg	Día 5 Kg	Día 6 Kg	Día 7 Kg	
1	V-001	4	2.35	2.70	2.00	3.10	2.10	3.00	1.80	2.70	0.62
2	V-002	6	4.50	0.00	0.00	0.00	3.50	0.00	3.60	0.00	0.17
3	V-003	3	1.90	1.50	1.90	2.10	1.70	1.50	2.00	1.70	0.59
4	V-004	3	0.30	1.10	2.00	1.70	1.50	1.80	1.60	2.00	0.56
5	V-005	4	2.40	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.12
6	V-006	2	7.60	1.90	1.10	0.90	1.60	1.50	0.90	1.90	0.70
7	V-007	2	3.75	0.90	1.50	1.30	0.80	1.10	1.60	1.40	0.61
8	V-008	3	4.50	1.90	2.20	2.30	1.80	2.70	2.50	2.00	0.73
9	V-009	2	4.55	1.20	0.90	1.35	0.80	1.70	1.20	1.50	0.62
10	V-010	3	0.00	2.90	1.90	2.50	2.30	0.00	2.40	2.60	0.70
11	V-011	5	3.48	3.10	2.40	2.50	3.30	2.90	2.80	2.50	0.56
12	V-012	4	1.20	2.70	2.10	2.30	2.20	2.40	2.00	2.60	0.58
13	V-013	4	1.48	2.60	1.90	2.50	2.20	2.60	2.40	2.70	0.60
14	V-014	5	4.00	0.00	0.00	0.00	2.10	0.00	2.80	0.00	0.14
15	V-015	3	9.25	1.90	1.60	1.80	2.30	2.20	2.10	2.60	0.69
16	V-016	2	1.13	1.20	1.80	1.90	1.30	1.10	1.50	1.30	0.72
17	V-017	7	1.70	4.10	3.60	3.30	4.20	3.20	4.00	4.30	0.54
18	V-018	6	0.30	4.10	3.70	3.70	3.50	4.20	4.30	0.00	0.56
19	V-019	3	1.40	2.20	2.40	2.30	3.00	0.00	2.70	2.20	0.70
20	V-020	5	6.20	0.00	3.90	3.30	3.20	3.10	2.60	2.80	0.54
21	V-021	4	1.60	2.70	3.50	2.70	3.60	2.80	3.10	0.00	0.66
22	V-022	4	0.60	3.30	2.50	3.20	2.70	3.00	2.90	2.60	0.72
23	V-023	5	0.53	3.80	2.60	3.10	2.90	3.30	3.00	2.70	0.61
24	V-024	4	2.10	2.90	3.10	2.60	2.50	3.00	2.70	2.40	0.69
25	V-025	3	2.10	2.00	1.70	0.75	1.30	0.65	2.30	1.90	0.50
26	V-026	6	6.40	3.60	4.20	3.70	3.30	1.95	3.10	2.90	0.54
27	V-027	6	0.40	4.30	4.20	4.70	4.40	2.45	0.00	3.90	0.57
28	V-028	3	0.40	1.69	1.40	1.10	1.20	1.00	2.10	1.90	0.49
29	V-029	2	5.60	0.00	1.20	1.45	1.30	1.00	1.10	0.80	0.49
30	V-030	4	3.15	2.80	3.15	3.10	1.20	2.60	1.30	1.90	0.57
31	V-031	5	0.00	2.40	2.70	2.50	2.20	2.80	2.90	1.20	0.48
32	V-032	3	0.63	1.50	1.50	1.60	1.00	2.10	1.80	1.30	0.51
33	V-033	5	5.75	0.00	2.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
34	V-034	4	0.65	2.10	1.70	2.30	2.20	1.90	2.10	1.85	0.51
35	V-035	5	0.30	2.30	1.60	1.85	2.70	2.40	1.90	2.10	0.42
36	V-036	4	3.73	0.00	2.10	2.30	1.80	1.90	1.65	2.50	0.44

37	V-037	3	2.53	2.00	1.60	1.00	1.50	2.20	0.00	1.90	0.49
38	V-038	4	3.10	2.60	1.50	0.80	1.50	2.70	3.40	2.50	0.54
39	V-039	3	1.58	1.30	1.60	1.50	1.10	1.50	1.20	1.10	0.44
40	V-040	4	1.58	0.00	2.10	1.60	2.30	2.10	1.90	1.95	0.43
41	V-041	5	3.50	1.75	2.50	1.15	2.90	3.30	3.20	2.40	0.49
42	V-042	4	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.07
43	V-043	2	3.65	1.45	1.50	1.50	1.70	0.90	1.35	0.80	0.66
44	V-044	6	0.00	2.05	3.90	2.40	4.00	3.20	2.35	3.40	0.51
45	V-045	6	5.00	2.30	2.70	3.60	2.80	3.40	2.20	1.80	0.45
46	V-046	4	7.60	3.20	3.08	1.80	3.60	2.00	0.00	1.20	0.53
47	V-047	5	1.98	2.75	0.00	1.40	3.20	1.80	3.00	2.40	0.42
48	V-048	3	5.25	0.45	2.70	0.00	1.30	1.00	0.00	2.30	0.37
49	V-049	4	3.70	1.40	1.60	1.25	2.10	1.50	2.30	1.85	0.43
50	V-050	3	0.80	0.00	0.00	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00	0.11
51	V-051	3	2.10	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10
52	V-052	3	11.20	1.45	1.78	1.78	2.00	1.25	1.35	1.20	0.51
53	V-053	4	1.92	2.45	2.05	2.30	1.90	2.30	2.40	1.80	0.54
54	V-054	3	1.35	0.00	1.30	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00	0.13
55	V-055	4	2.55	2.40	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.21
56	V-056	3	2.60	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	2.40	1.90	0.31
57	V-057	4	1.50	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00	2.80	0.00	0.20
58	V-058	3	1.15	2.15	2.35	1.20	1.80	1.45	1.30	1.20	0.55
59	V-059	5	0.30	2.60	3.20	3.30	2.90	3.00	3.10	0.00	0.52
60	V-060	3	2.20	1.10	1.25	0.00	1.80	0.90	1.10	1.20	0.35
61	V-061	4	0.00	2.70	1.40	2.80	2.20	1.90	2.30	2.10	0.55
62	V-062	3	0.75	1.45	1.25	1.85	1.20	0.00	0.80	0.90	0.35
63	V-063	5	1.50	2.75	2.70	0.00	3.20	2.40	1.90	2.70	0.45
64	V-064	4	2.45	2.70	1.40	0.80	1.50	2.50	3.40	2.20	0.52
65	V-065	3	0.00	2.00	1.90	1.00	1.50	2.20	1.60	1.80	0.57
66	V-066	6	3.00	0.00	0.00	0.00	2.90	0.00	0.00	0.00	0.07
67	V-067	2	1.65	1.65	1.50	1.30	1.40	0.90	1.10	1.00	0.63
68	V-068	8	0.00	3.10	5.50	4.05	6.40	5.20	1.60	4.30	0.54
69	V-069	4	5.25	2.20	0.00	2.50	1.50	1.20	0.90	2.25	0.38
70	V-070	4	2.53	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.10
71	V-071	3	6.30	0.00	0.00	2.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.20
<b>Generación per cápita domiciliaria del distrito<sup>2</sup></b>											<b>0.47</b>

Fuente: ECRS, 2016

Nota: El peso de los residuos sólidos del primer domingo (Día 0) se registran pero no se utilizan para el cálculo.

$$^{(1)} \text{ Generación per cápita para cada vivienda: } GPC_i = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{\text{Número de habitantes} \times 7 \text{ días}}$$

$$^{(2)} \text{ Generación per cápita domiciliaria del distrito: } GPC = \frac{GPC_1 + GPC_2 + GPC_3 + \dots + GPC_n}{n}$$

La generación domiciliaria per cápita (sin la validación respectiva),<sup>n</sup> de la zona urbana del distrito de Moyobamba queda determinada en 0.47 kg/hab./día.

La generación domiciliaria per cápita validada, de la zona urbana del distrito de Moyobamba queda determinada en **0.54** kg/hab./día.

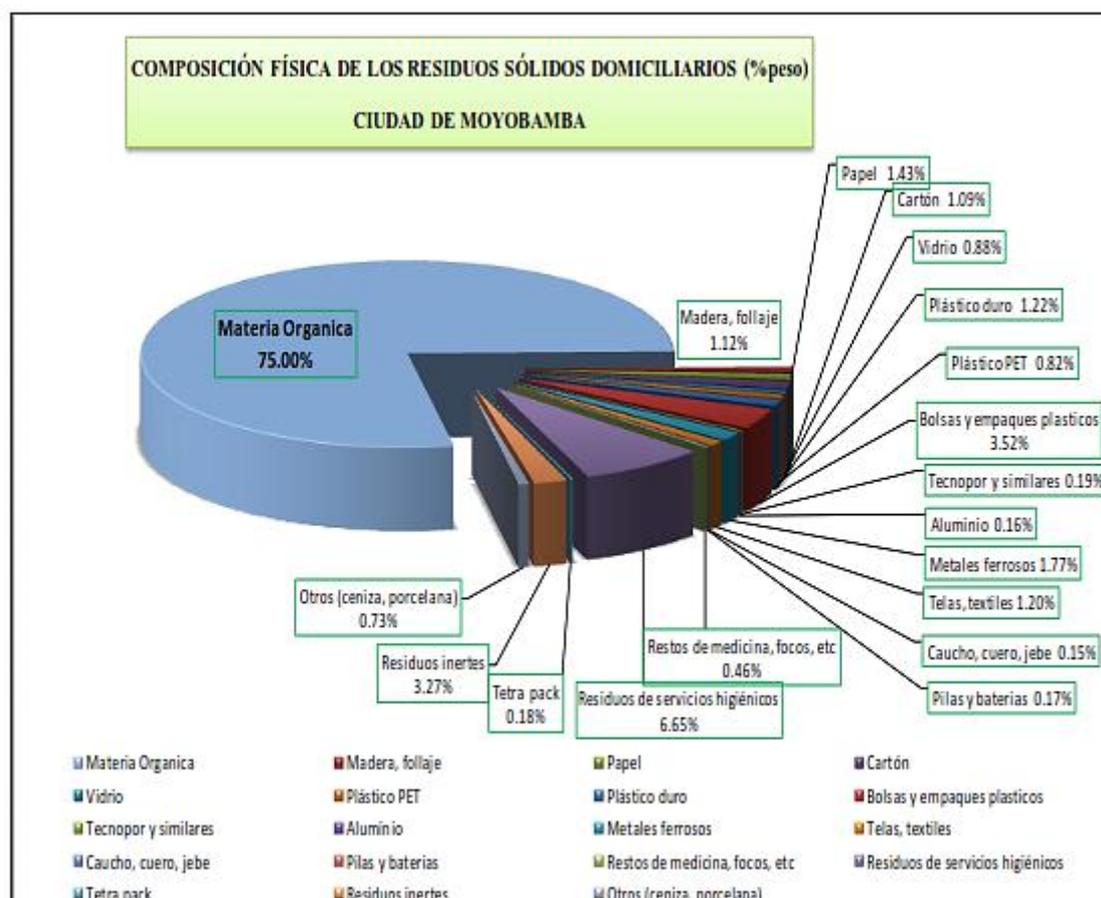
## Composición física de los residuos sólidos domiciliarios

**Tabla 3**

*Registro de pesos por componentes de residuos*

Tipo de residuos sólidos	Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios								Composición porcentual	
	Día 1 Kg	Día 2 Kg	Día 3 Kg	Día 4 Kg	Día 5 Kg	Día 6 Kg	Día 7 Kg	Kg	%	
<b>Materia Orgánica</b>	48.35	43.88	37.37	44.74	49.28	44.96	35.89	304.43	75.00%	
<b>Madera, Follaje</b>	0.90	0.70	1.20	0.10	0.15	0.50	1.00	4.55	1.12%	
<b>Papel</b>	0.75	0.80	0.40	0.53	1.92	0.65	0.75	5.80	1.43%	
<b>Cartón</b>	1.20	0.63	0.35	0.40	0.55	0.70	0.60	4.43	1.09%	
<b>Vidrio</b>	0.60	0.50	0.00	0.53	0.00	0.25	1.68	3.56	0.88%	
<b>Plástico PET</b>	0.35	0.50	0.78	0.30	0.65	0.50	0.25	3.33	0.82%	
<b>Plástico Duro</b>	1.65	0.85	0.40	0.40	0.00	0.95	0.70	4.95	1.22%	
<b>Bolsas</b>	2.10	2.00	1.95	2.55	2.28	2.35	1.06	14.29	3.52%	
<b>Tetrapak</b>	0.20	0.10	0.15	0.09	0.00	0.08	0.10	0.72	0.18%	
<b>Tecnopor y similares</b>	0.11	0.15	0.20	0.10	0.00	0.10	0.10	0.76	0.19%	
<b>Metal</b>	0.59	0.60	1.23	1.95	0.99	1.32	0.50	7.18	1.77%	
<b>Telas, textiles</b>	0.65	0.95	0.58	0.59	1.46	0.45	0.20	4.88	1.20%	
<b>Caucho, cuero, jebe</b>	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.05	0.40	0.62	0.15%	
<b>Pilas</b>	0.10	0.10	0.10	0.00	0.38	0.03	0.00	0.71	0.17%	
<b>Restos de medicinas, etc</b>	0.24	0.19	0.73	0.10	0.08	0.00	0.52	1.86	0.46%	
<b>Residuos Sanitarios</b>	4.18	3.50	3.37	6.30	4.30	4.28	1.06	27.02	6.65%	
<b>Residuos Inertes</b>	2.40	2.30	0.58	0.97	1.98	2.40	2.65	13.28	3.27%	
<b>Latas</b>	0.00	0.50	0.00	0.00	0.05	0.00	0.10	0.65	0.16%	
<b>Otros</b>	0.10	0.10	0.45	0.00	1.65	0.40	0.25	2.95	0.73%	
	<b>Total</b>								405.97	100.00%

Fuente: ECRS, 2016



**Figura 7.** Composición física de los residuos sólidos domiciliarios (% peso). (Fuente: ECRS, 2016)

**Tabla 4**

*Generación proyectada de residuos por giro de los establecimientos comerciales de la ciudad de Moyobamba*

GENERACION DE RESIDUOS EN ESTABLECIMIENTO COMERCIALES										
GIRO DE ESTABLECIMIENTO	Código	Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Generación Total (Promedio Diario) Kg/día
		Kg								
DISTRIBUCIÓN DE MOTOS	EC-01	0.61	0.45	0.45	0.21	0.53	0.32	0.51	0.21	0.38
	EC-02	0.21	0.36	0.32	0.45	0.58	0.24	0.42	0.23	0.37
	EC-03	1.32	12.5	5.3	6.35	13.8	13.5	31	5.55	12.57
	EC-04	1.03	3.35	2.15	2.9	1.1	0.85	3.8	2.3	2.35
	EC-05	1.23	6.4	3.3	4.9	3.7	1.6	4.5	1.5	3.70
BODEGAS Y ABARROTÉS	EC-06	1.34	4.3	4	1.55	2.5	1.6	1.2	1.75	2.41
	EC-07	0.81	2.7	0.8	1.8	3.6	2.8	2	0.7	2.06
	EC-08	0.76	19	14.3	24.5	21	25.2	19.2	15.5	19.81
	EC-09	1.32	3.2	3	1.7	6.6	3	0.5	2.5	2.93
	EC-10	1.42	1.8	5.75	3.3	2.9	1.8	5.9	1.8	3.32

	EC-11	1.53	2.4	1.45	1.65	6	3.35	0.4	2.35	2.51
LIBRERIAS	EC-12	0.23	0.15	0.54	0.45	0.12	0.43	0.18	0.67	0.36
	EC-13	0.12	0.15	0.32	0.59	0.76	0.32	0.67	0.32	0.45
	EC-14	0.15	0.12	0.32	0.43	0.5	0.34	0.51	0.39	0.37
PELUQUERIAS	EC-15	0.24	0.31	0.32	0.22	0.44	0.54	0.43	0.66	0.42
	EC-16	3.56	7.7	11.8	8	7.7	11	8.7	4.2	8.44
BARES Y RESTAURANTES	EC-17	3.65	6.4	3.7	8.15	3.5	4.9	3.2	4.1	4.85
	EC-18	4.21	7	5.7	6	19.8	13.8	9.3	7.3	9.84
	EC-19	3.43	3.1	4.8	9.25	18.8	17.4	7.6	3.8	9.25
	EC-20	3.68	22.8	8.65	3.7	25	22.4	16.6	19.5	16.95
CABINAS DE INTERNET	EC-21	2.54	17.5	14.05	9.85	19.45	15.65	14.4	8.4	14.19
	EC-22	0.45	0.34	0.11	0.43	0.35	0.21	0.24	0.13	0.26
	EC-23	0.34	0.14	0.18	0.11	0.23	0.12	0.22	0.23	0.18
	EC-24	0.23	0.25	0.65	0.43	0.56	0.67	0.88	0.12	0.51
CASAS COMERCIALES	EC-25	2.53	2.98	3.12	3.14	2.18	3.11	2.19	3.21	2.85
	EC-26	3.16	3.5	2.65	2.45	3.21	4.32	3.27	3.45	3.26
	EC-27	2.56	2.14	3.22	2.43	2.17	3.56	3.67	3.32	2.93
	EC-28	2.23	1.2	2.65	3.45	0.56	2.48	4.56	3.21	2.59
	EC-29	0.12	10.2	9.6	10	11.2	4.35	3.5	4.2	7.58
	EC-30	0.13	2.5	0.15	4.5	0.3	2.8	0.9	1.2	1.76
	EC-31	0.32	0.35	1.5	1.4	0.8	1.3	1.5	1	1.12
	EC-32	0.32	3	2.2	3.1	1.1	1	1	3.9	2.19
FERRETERIAS	EC-33	2.12	1.45	1.54	0.21	0.34	0.25	0.45	0.89	0.73
	EC-34	0.67	0.56	0.32	0.87	0.58	0.45	0.32	0.65	0.54
	EC-35	0.32	0.45	0.54	0.56	0.45	0.32	0.48	0.32	0.45
	EC-36	0.34	0.56	0.66	0.86	0.86	0.78	0.45	0.32	0.64
EMPRESAS DE TRANSPORTE	EC-37	0.56	0.77	0.87	0.89	0.56	0.45	0.87	0.43	0.69
	EC-38	0.76	0.34	0.56	0.65	0.34	0.76	0.53	0.12	0.47
	EC-39	1.21	0.98	0.67	0.59	0.87	0.56	0.65	0.48	0.69
HOSPEDAJES	EC-40	2.21	2.32	1.54	2.43	1.34	1.45	1.67	1.65	1.77
	EC-41	3.12	2.13	1.11	1.32	1.43	2.13	2.1	2.21	1.78
PANADERIAS	EC-42	4.33	3.22	3.12	2.45	3.21	2.68	3.22	3.21	3.02
	EC-43	5.32	13.8	4.95	8.85	5.4	9.7	3.4	6.45	7.51
EC	Generación promedio en establecimientos comerciales									3.75
	Número de Establecimientos									1173
	Generación Distrital Total por Fuente de generación									4393.10
	<i>Kg/día</i>									

Fuente: ECRS, 2016

La generación distrital total en los establecimientos comerciales de la ciudad de Moyobamba es de **4393.10 kg/día**, proyectados según los 1173 establecimientos existentes ya que la generación promedio por establecimiento es de **3.75 kg**

**Tabla 5***Generación total de residuos sólidos del distrito de Moyobamba*

Generación de residuos en establecimiento comerciales (Kg/local/día)	Generación de residuos en Instituciones Educativas (Kg/alumno/día)	Generación de residuos en puestos del mercado central (Kg/puesto/día.	Generación de residuos del barrido de calles (kg/km/día)
<b>3,75</b>	<b>0,91</b>	<b>4,57</b>	<b>26,79</b>

Fuente: ECRS, 2016

**Descripción del área de estudio**

El actual botadero municipal, se encuentra ubicada a 5.1 Km en la carretera Moyobamba – Yantaló, el área destinada es de 4.76 hectáreas, lugar donde se centró la presente investigación, que en su jurisdicción según datos estadísticos brindados por la sala de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Moyobamba (2014) presenta un 12.32% de los ríos contaminados y un 9.24% de suelos, todo esto sumado a que tenemos gran parte de los bosques deforestados, ocupando un desagradable tercer lugar en la región de San Martín después del El Dorado y Picota; la cual produce una gran variación de la temperatura ambiental.

Uno de los más graves problemas sanitarios que afectan a los pobladores aledaños, lo constituye la mala disposición final de los residuos sólidos, los cuales son arrojados en el botadero municipal desde hace 8 años sin ninguna consideración técnica, los mismos que emiten gases tóxicos, además la descomposición de los residuos sólidos genera gran cantidad de lixiviados con aguas totalmente negras conduciendo a la liberación de peligrosos contaminantes, que constituyen un grave problema sanitario, causante de efectos adversos al medio ambiente y a la salud humana. Existen otros aspectos relevantes que agravan este problema, como, por ejemplo, la producción de todo tipo de contaminantes tóxicos, focos puntuales de proliferación de microorganismos y la proliferación de vectores que se convierten en causantes de diversas enfermedades infecciosas, los residuos sólidos en pocos casos son enterrados mediante la construcción de celdas.

No existe un reciclaje formal, pero existen personas en el botadero que realizan el reciclaje informal, como forma de subsistencia, la basura luego no es quemada, sino se construyen celdas y en dichas celdas la basura es arrumada y enterrada, además existe una gran presencia de gallinazos en el sector, que tiene efectos negativos en los pobladores del área aledaña.

## **Normatividad legal vigente**

El marco legal vigente que regula los aspectos de la gestión y manejo de los residuos a nivel nacional son los siguientes:

La Constitución Política, Promulgada en el año 1993, fija normas que garantizan el derecho que tiene toda persona a la protección de su salud y gozar de un ambiente equilibrado. Establece asimismo que es el Estado quien determina las políticas nacionales de salud y ambiente.

Ley de gestión integral de residuos sólidos (D.L.1278) y su reglamento (D.S. 014-2017-MINAM) la que se sostiene sobre tres pilares: Reducir residuos como primera prioridad, la eficiencia en el uso de los materiales y los residuos vistos como recursos y no como amenaza.

Ley N° 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades

“Artículo 80°.- Saneamiento, salubridad y salud.- Las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

1. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

1.1. Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. (...)

3. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades distritales:

3.1. Proveer del servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y el aprovechamiento industrial de desperdicios. (...)”

Ley General del Ambiente - Ley N° 28611 Hace una diferencia de responsabilidades en cuanto al manejo de los residuos sólidos de origen doméstico y comercial (municipales), y de otros tipos de residuos (no municipales), cuyos generadores serán responsables de su adecuada disposición final, bajo las condiciones de control y supervisión establecidas en la legislación vigente.

Ley General de Salud - Ley N° 26842 en la cual se reconoce la responsabilidad del Estado frente a la protección de la salud ambiental. En su artículo 96 del Capítulo IV, se menciona que en la disposición de sustancias y productos peligrosos deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para prevenir daños a la salud humana o al ambiente.

Asimismo, los artículos 99, 104 y 107 del Capítulo VIII tratan sobre los desechos y la responsabilidad de las personas naturales o jurídicas de no efectuar descargas de residuos o sustancias contaminantes al agua, el aire o al suelo. El artículo 80°, numeral 3.1 de la misma Ley señala que en materia de saneamiento, salubridad y salud, son funciones específicas de las municipalidades distritales: proveer el servicio de limpieza pública determinando las áreas de acumulación de desechos, rellenos sanitarios y el aprovechamiento industrial de los desperdicios.

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.

Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada Decreto legislativo N° 757 (13 de noviembre de 1991) - que incentiva el crecimiento de la inversión privada, y que en su artículo 55, precisa que se encuentra prohibido “internar al territorio nacional residuos o desechos, cualquier sea su origen o estado materia, que por su naturaleza, uso fines, resultan peligrosos radiactivos...El internamiento de cualquier otro tipo de residuos o desechos sólo podrá estar destinado a su reciclaje, reutilización o transformación”

Ley de Bases de Descentralización - Ley N° 27783 que establece entre los objetivos a nivel ambiental, la gestión sostenible de los recursos naturales y mejoramiento de la calidad ambiental, además de incluir dentro de la asignación de competencias de las municipalidades, la gestión de los residuos sólidos dentro de su jurisdicción.

Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental - Ley N° 27446 establece dentro de los criterios de protección ambiental, la protección de la calidad ambiental, tanto del aire, del agua, del suelo, como la incidencia que puedan producir el ruido y los residuos sólidos, líquidos y emisiones gaseosas; aspectos ambientales comunes a toda infraestructura de disposición final de residuos sólidos. Así mismo define los estudios ambientales correspondientes a cada tipo de proyecto dependiendo de la envergadura de éstos y la potencialidad de los impactos en el ambiente.

## **Código Penal**

Ley N° 29263, “Ley que modifica diversos artículos del Código Penal y de la Ley General del Ambiente”, en el título XIII, capítulo I, sobre los Delitos Ambientales, establece las penalidades por MINISTERIO DEL AMBIENTE establece las penalidades por contaminación al ambiente y en su artículo 306, por incumplimiento de las normas relativas al manejo de residuos sólidos, define:

El que sin autorización o aprobación de la autoridad competente, establece un vertedero o botadero de residuos sólidos que pueda perjudicar gravemente la calidad del ambiente, la salud humana o la integridad de los procesos ecológicos, será reprimido con pena privativa de libertad no mayor de 4 años.

Si el agente actuó por culpa, la pena será privativa de libertad no mayor de 02 años. Con el agente, contraviniendo, leyes, reglamentos o disposiciones establecidas, utiliza desechos sólidos para la alimentación de animales destinados al consumo humano, la pena será no menor de 03 años no mayor de 06 años y con doscientos sesenta a cuatrocientos cincuenta días - multa.

### **1.3. Definición de términos**

#### **Agua de escorrentía.**

Agua que no penetra en el suelo o lo hace muy lentamente y corre sobre la superficie después de un período de lluvia.

#### **Botadero.**

Acumulación inadecuada de residuos sólidos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios y ambientales.

#### **Celda.**

Conjunto de células en un relleno sanitario.

#### **Cobertura.**

Capa de tierra u otro material inerte con la que se cubren las sucesivas capas de residuos que se van formando durante el crecimiento del relleno sanitario para evitar su exposición a la intemperie

**Compactación.**

Reducción del volumen de los residuos con aumento de su densidad por medios manuales o mecánicos en las unidades de recolección o en los rellenos sanitarios.

**Disposición final.**

Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura. Constituye la última actividad del sistema de limpieza pública.

**Empresa prestadora de servicios de residuos sólidos.**

Persona jurídica que presta servicios de residuos sólidos en una o varias de las siguientes actividades: limpieza de vías y espacios públicos, recolección y transporte, transferencia, tratamiento, comercialización y disposición final de residuos sólidos.

**Generador.**

Persona natural o jurídica que genera residuos sólidos, sea como productor, importador, distribuidor, comerciante o usuario. También se considerará como generador al poseedor de residuos sólidos peligrosos cuando no se pueda identificar al generador real y a los gobiernos municipales a partir de las actividades de recolección.

**Gestión de residuos sólidos.**

Toda actividad técnica administrativa de planificación, coordinación, concertación, diseño, aplicación y evaluación de políticas, estrategias, planes y programas de acción de manejo apropiado de residuos sólidos en el ámbito nacional, regional y local.

**Impacto ambiental.**

En el más amplio sentido, el impacto ambiental es causado por la presencia de un proyecto que puede provocar tanto efectos positivos como negativos. En este contexto, el concepto ambiente incluye el conjunto de factores físicos, sociales, culturales y estéticos relacionados con el individuo y la comunidad.

**Lixiviados.**

Es el líquido que percola a través de los residuos sólidos y que acarrea materiales disueltos o suspendidos. La infiltración de agua de lluvia es el principal generador de lixiviados en

los rellenos sanitarios y en los botaderos. Otros contribuyentes son el contenido de humedad propia de los residuos sólidos y el agua de escorrentía que entra en contacto con los residuos sólidos.

### **Manejo de residuos sólidos.**

Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico utilizado desde la generación hasta la disposición final.

**Reciclaje.** Toda actividad que permita reaprovechar un residuo sólido mediante un proceso de transformación para cumplir su fin inicial u otros fines.

**Relleno sanitario.** Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra, de acuerdo con principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

### **Residuo sólido.**

Los residuos sólidos pueden ser definidos como “aquellos materiales orgánicos o inorgánicos de naturaleza compacta, que han sido desechados luego de consumir su parte vital”. Asimismo, explica que “el concepto de residuo sólido es un concepto dinámico que evoluciona paralelamente al desarrollo económico y productivo”.

### **Residuo sólido domiciliario.**

Los residuos sólidos domiciliarios “son aquellos elementos, objetos o sustancias que como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas son desechados o abandonados”.

**Residuos sólidos municipales.** Residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades urbanas en general. Pueden tener origen residencial o doméstico, comercial, institucional, del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la municipalidad o de otra autoridad del gobierno.

### **Residuos peligrosos.**

Residuos que por sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogenicidad son capaces de causar daños a la salud humana o al ambiente, por lo que requieren un manejo especial.

**Vertedero.**

Término con el cual se conoce también a los botaderos.

**Vida útil.**

Periodo estimado de operación del relleno sanitario

## **CAPÍTULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **2.1. Material**

Los materiales utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

- ✓ Cuaderno de campo
- ✓ Laptop ASUS GL552VX, Intel(R) Core(TM) i7-6700U CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz.
- ✓ Calculadora científica Casio modelo fx-570 ES PLUS
- ✓ Gps Montana 650 Garmin
- ✓ Guía de diseño, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual
- ✓ Guía de diseño, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario Mecanizado
- ✓ Wincha
- ✓ Impresora Epson L495
- ✓ Papel bond A4
- ✓ Lapiceros (azul y rojo)
- ✓ Folders manila A4
- ✓ Engrapador
- ✓ Perforador
- ✓ Grapas

#### **2.2. Métodos**

El tipo de investigación realizada fue la aplicada y el nivel de investigación explicativo.

El diseño de investigación está basado en la correlación de la variable dependiente (Y) y las variables independientes (Xi). Lo que significa que para realizar una propuesta de diseño de celdas esta deberá tomar en cuenta la población, características del terreno, generación percapita y características de residuos sólidos generados en la ciudad de Moyobamba. Cuyo diseño es el siguiente:

$$Y = f(X_i) \quad \longrightarrow \quad Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

Donde:

X<sub>1</sub>: Población

X<sub>2</sub>: Características del terreno (ubicación, tamaño, precipitación, etc.)

X<sub>3</sub>: Generación Percapita (Gpc)

X<sub>4</sub>: Características de los residuos sólidos (composición, densidad, etc.)

Y= Diseño de celda.

Para el presente estudio de propuesta de diseño de celdas en la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba, se basa en las guías de operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual y mecanizado del Ministerio del Ambiente (MINAM), así como los estudios básicos como topografía, estudio de mecánica de suelos, estudio de caracterización de los residuos sólidos (ECSR), entre otros contenidos en el expediente técnico del proyecto “Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos inorgánicos reciclables para las ciudades de Yantaló, Calzada, Soritor y Moyobamba, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín”. Código SNIP N° 87398. Además de la guía de OPS/CEPIS.

### **Población**

La población de estudio estuvo conformada por la cantidad total de habitantes en la zona urbana del distrito de Moyobamba proyectado, considerando la población censada en el 2017 de 57724 habitantes, el cual con una tasa de crecimiento geométrico de 3.56%, se tiene una población al año 2019 (año base) de 61908 habitantes. (N=61908).

### **Muestra**

Número de personas encuestados, respecto a la satisfacción del servicio de disposición final de residuos sólidos municipales de Moyobamba.

El cálculo de la muestra representativa estadísticamente es a partir de la aplicación de la siguiente ecuación:

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

Donde:

n: Es el tamaño de la muestra poblacional para ser encuestados

N: Es el tamaño de la población urbana total del distrito de Moyobamba

$\sigma$ : Es la desviación estándar de la población (para el presente estudio se asumió la varianza máxima de  $\sigma = 0.5$ , debido a que no es conocido).

Z: Es el valor obtenido mediante niveles de confianza al 95 % (1.96), como el valor mínimo aceptado.

e: Representa el límite aceptable de error muestral al 5% (0.05) el valor estándar.

Obteniendo así para  $N = 61908$  hab una muestra representativa de  $n = 378$  personas para la aplicación de la encuesta.

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron, fueron los siguientes:

**Observación sistemática:** Permitió registrar información bibliográfica para complementar la caracterización del problema, reconocimiento de los procesos de diseño comprendidos en el estudio y emitir apreciaciones sobre la muestra de estudio.

**Fichaje:** Sirvió para la recopilación de las bases teóricas relacionadas con el tema, objeto de investigación.

**Encuesta:** Utilizada para recolectar opiniones técnicas e información y conocer el estado situacional de la gestión integral de los residuos sólidos del distrito de Moyobamba.

**Muestreo:** El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección de viviendas ubicadas en diferentes sectores y barrios de la ciudad de Moyobamba.

Para conocer el estado situacional de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba se aplicó una encuesta respectivamente, donde el procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva, con los pasos recopilación, organización y presentación de la información mediante gráfico de barras con su respectivo análisis e interpretación de datos.

Respecto a los criterios y modelos de diseño de celdas para disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba, para el cálculo de la tasa de crecimiento se ha evaluado el comportamiento de la población mediante cinco métodos diferentes: Aritmético, geométrico, parabólico y exponencial modificado, seleccionando así el método geométrico por criterio técnico de acuerdo a las características de la población; además de utilización de la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual del MINAM y OPS/CEPIS.

## CAPÍTULO III

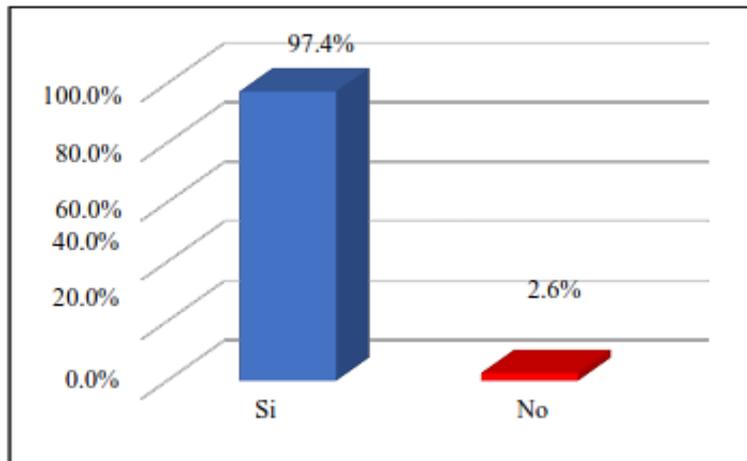
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Estado situacional de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba.

a. Sobre la percepción del encuestado:

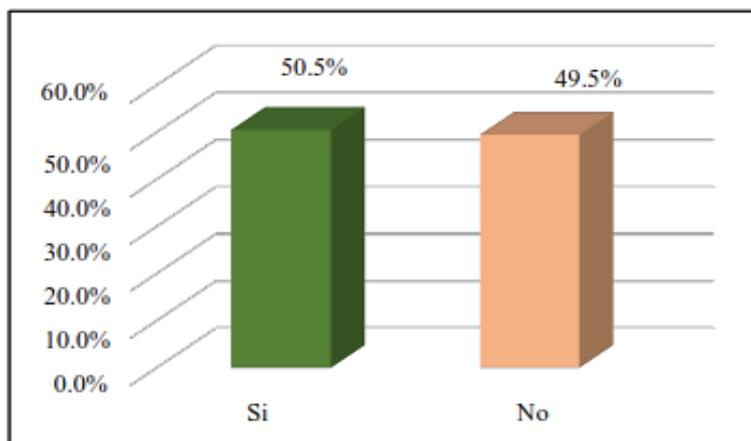
Item 01: ¿Sabe usted que son los residuos sólidos?



**Figura 8.** Resultados del ítem 01

Nota: De los 378 encuestados el 97.4% conoce que son los residuos sólidos; el 2.6% no conocen y refieren a: Nunca tuve información (7) y no he escuchado (3).

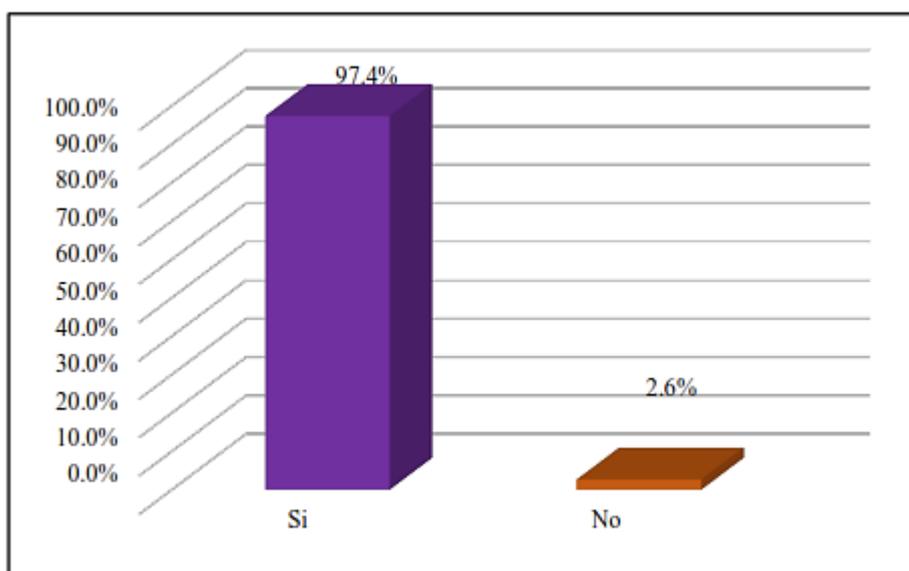
Item 02: ¿Separa y dispone adecuadamente los residuos sólidos que usted genera?



**Figura 9.** Resultados del ítem 02

Nota: De los 378 encuestados el 50.5% separa y dispone adecuadamente los residuos sólidos que genera; el 49.5% no realizan dicha práctica y refieren a: No paramos en casa (31), no me da tiempo (62), nunca lo he hecho (11), no estoy al pendiente (1), difícil lo hacemos (3), falta de costumbre (30), falta de interés (3), todo lo juntamos en uno solo (34), nadie me ha venido a capacitar (9) y falta de conocimiento (3)

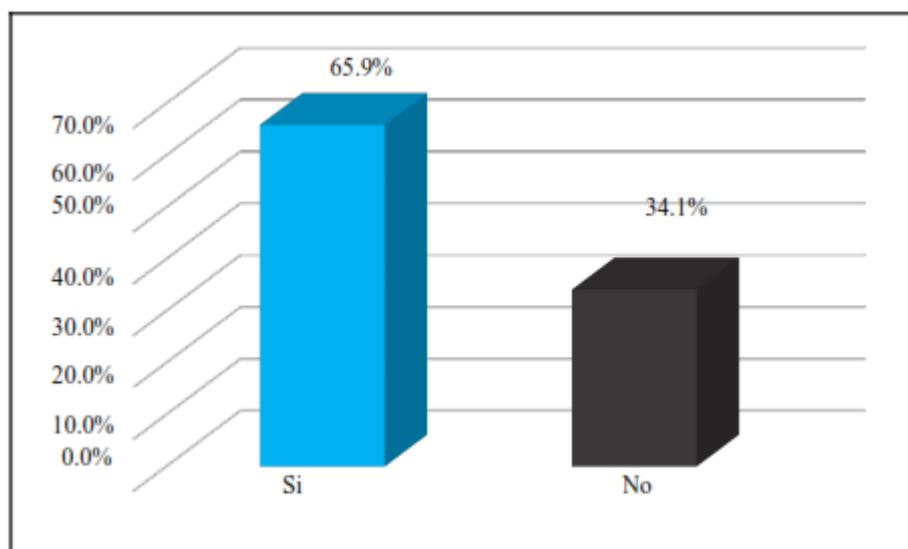
Item 03: ¿Tiene usted conocimiento de qué residuos sólidos se pueden reciclar?



**Figura 10.** Resultados del Item 03

Nota: De los 378 encuestados el 97.4% conoce que residuos se pueden reciclar; el 2.6% no conocen y refieren a: No tengo conocimiento (9) y nadie me ha informado (1).

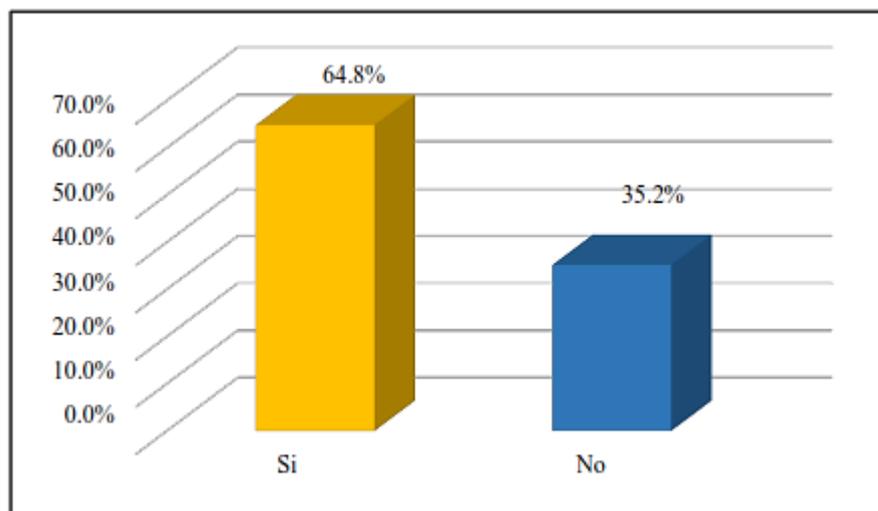
Item 04: ¿Tiene conocimiento acerca del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos no Peligrosos”?



**Figura 11.** Resultados del Item 04.

Nota: De los 378, encuestados el 65.9% tiene conocimiento del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos no Peligrosos”; el 34.1% no conocen y refieren a: No opina (25), no he escuchado sobre eso (27), falta de interés en el tema (3), no me han enseñado (5), no realizan campañas respecto a eso (1), no estoy informado (52) y no tiene conocimiento (16).

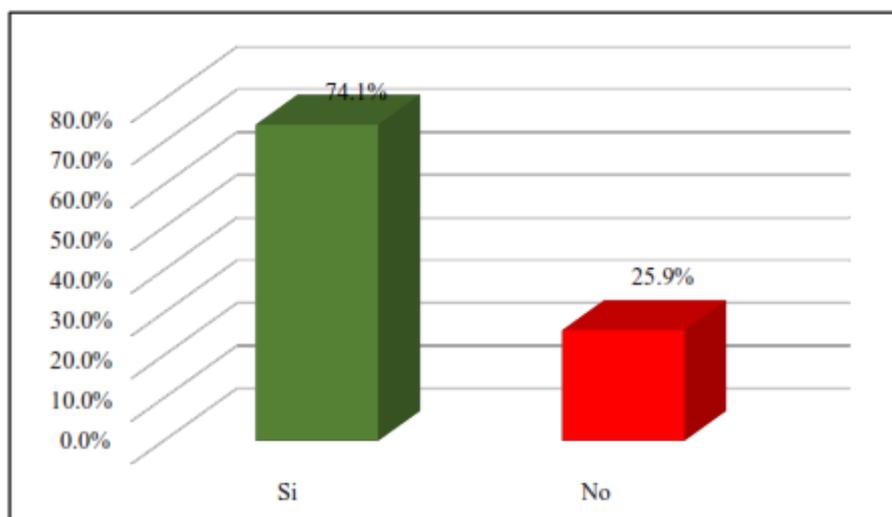
Item 05: ¿Tiene conocimiento acerca del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos”?



**Figura 12.** Resultados del Item 05

Nota: De los 378 encuestados el 64.8% tiene conocimiento del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos”; el 35.2% no conocen y refieren a: No sabe (22), no he escuchado (22), falta de interesen el tema (5), no me han enseñado (13), no recibí información (66) y sé que son los residuos peligrosos pero el plan de manejo no (5).

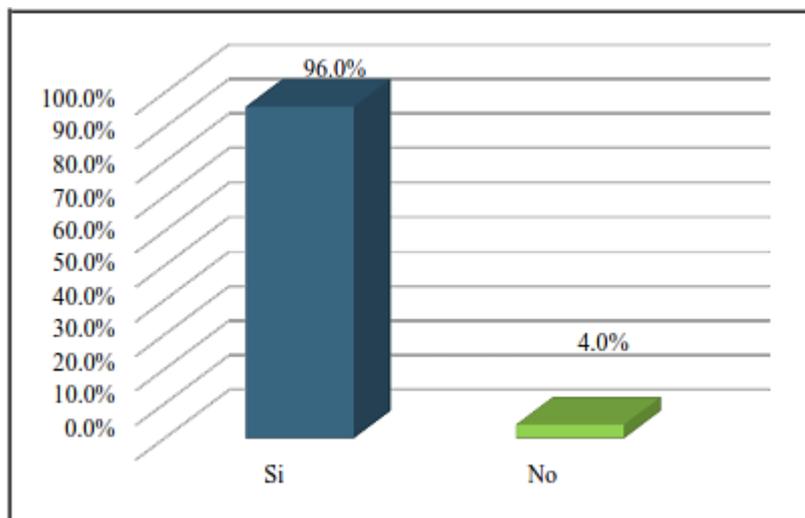
Item 06: ¿Alguna vez ha recibido información sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos?



**Figura 13.** Resultados del Item 06

Nota: De los 378 encuestados el 74.1% ha recibido información sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos; el 25.9% no lo hizo y refieren a: Nunca han vendo por mi barrio y/o sector (31), no he visto que sensibilizan (31), no he tenido la oportunidad (16), solo lo he visto por tv (3), no he recibido ningún tipo de información (14), información completa no (2) y no hay iniciativa (1)

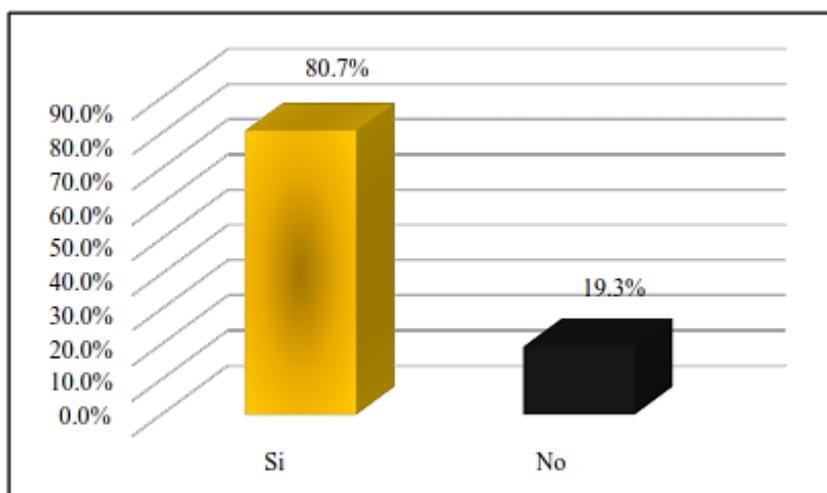
Item 07: ¿Cree usted que mediante la sensibilización se puede reducir la mala disposición final de los residuos sólidos?



**Figura 14.** Resultados del Item 07

Nota: De los 378 encuestados el 96.0% cree que mediante la sensibilización se puede reducir la mala disposición final de los residuos sólidos; el 4.0% no, y refieren a: Eso no ayuda, la gente no hace caso (10) y no le dan importancia (5).

Item 08: ¿Tiene conocimiento sobre el estado actual del botadero?



**Figura 15.** Resultados del Item 08

Nota: De los 378 encuestados el 80.7% conoce sobre el estado actual del botadero; el 19.3% no tiene conocimiento y refieren a: No conozco (24), no me he ido a ver cómo está actualmente (18), falta de información (26), no opina (1) y falta de interés (4)

b. Sobre el nivel de conocimiento

Item 09: ¿Qué solución usted propondría para una adecuada disposición final de los residuos sólidos?

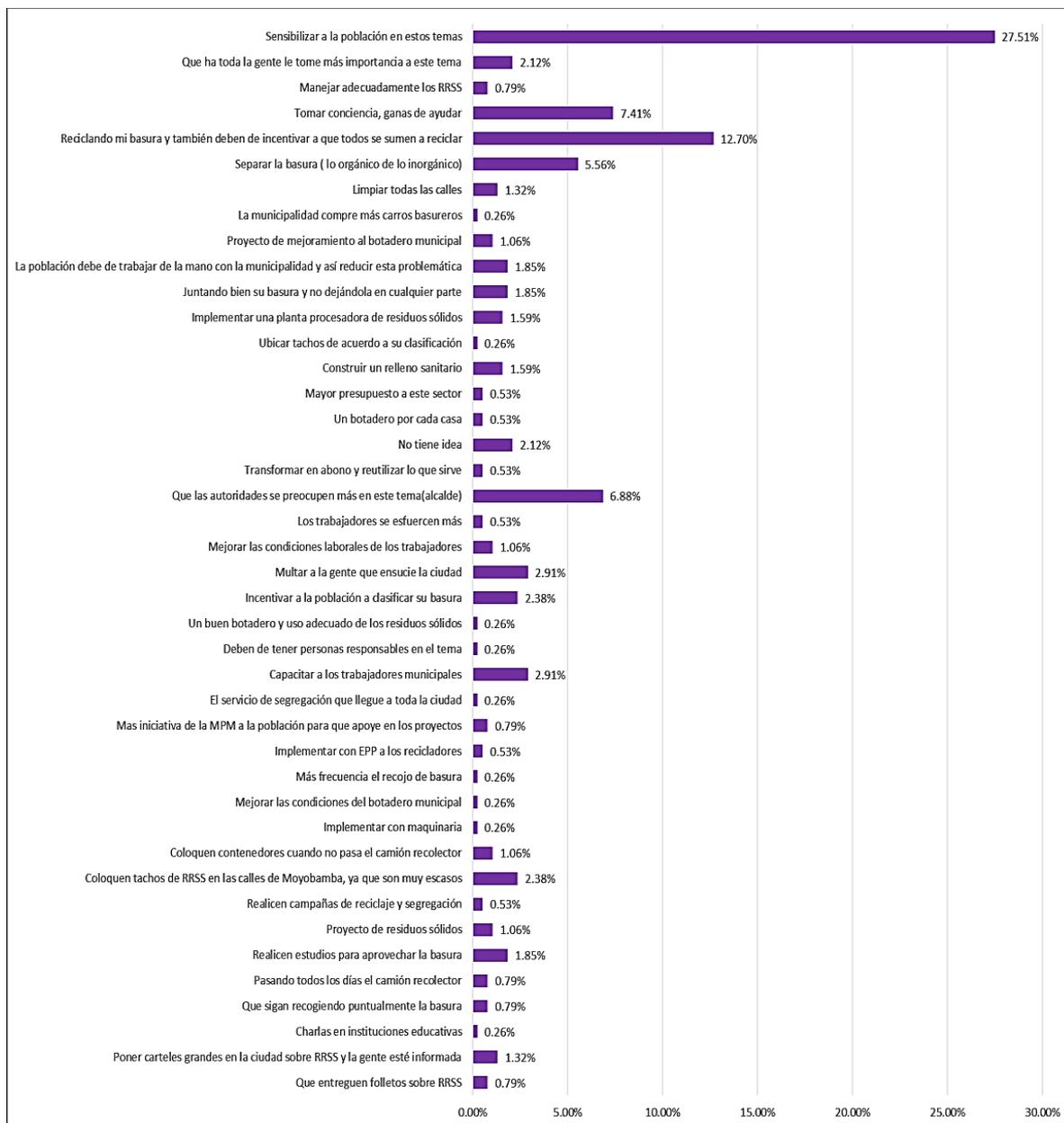
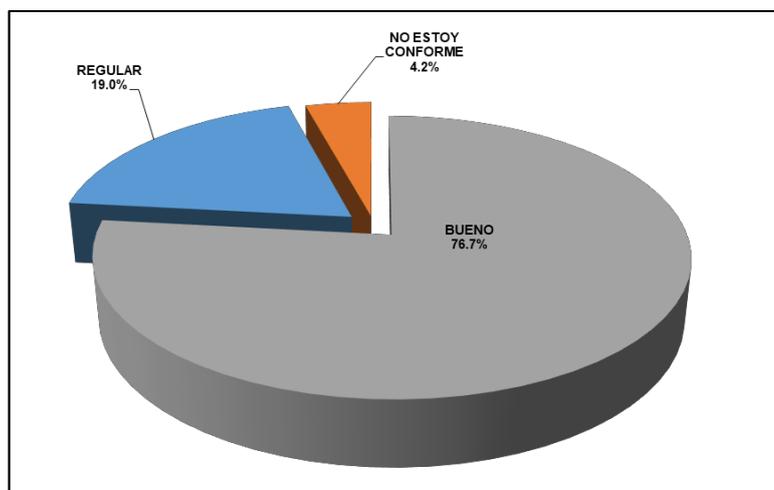


Figura 16. Resultados del Item 09

Nota: De los 378 encuestados principalmente el 27.51% consideran dentro de algunas alternativas de solución para una adecuada disposición final de los residuos sólidos, el sensibilizar a la población en estos temas.

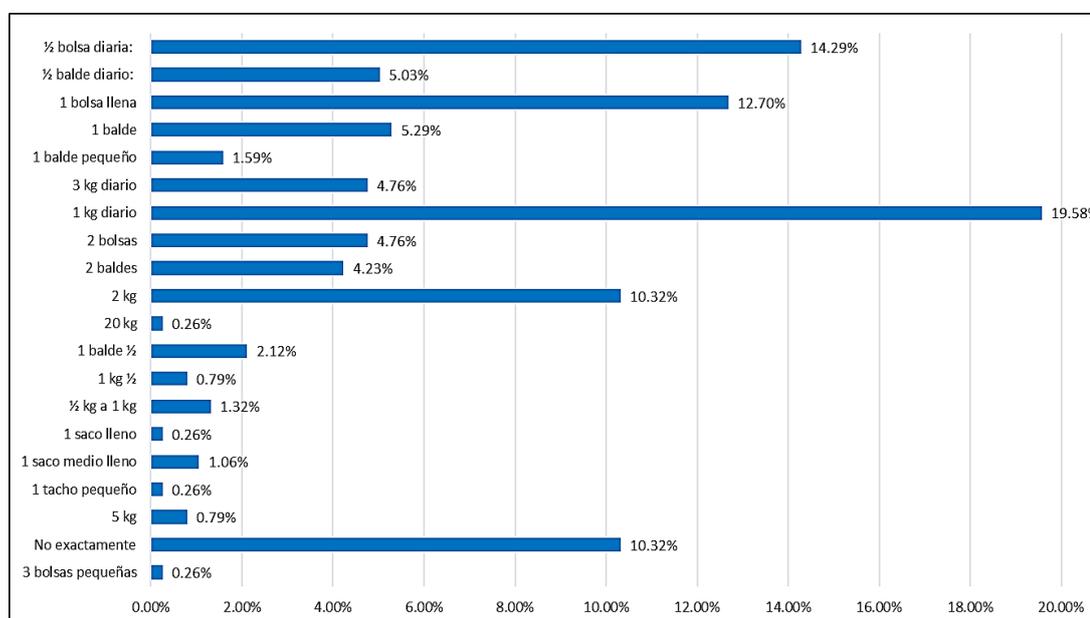
Item 10: ¿Cómo calificaría usted el servicio de recojo que se brinda en la ciudad de Moyobamba?



**Figura 17.** Resultados del Item 10

Nota: De los 378 encuestados el 76.7% consideran que el servicio de recojo en la ciudad es bueno, el 19.0% califican como regular y un 4.2% no está conforme con este servicio.

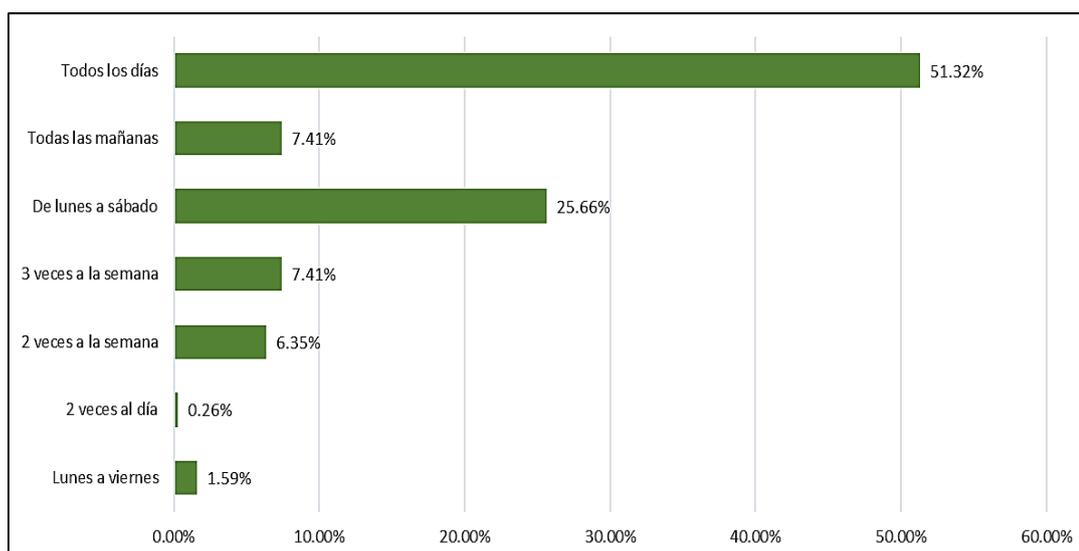
Item 11: Conoce aproximadamente la cantidad de residuos sólidos que genera en su hogar?



**Figura 18.** Resultados del Item 11

Nota: De los 378 encuestados principalmente el 19.58 % consideran que 1 kg diario de residuos sólidos se genera en su hogar, un 14.29% considera 1/2 bolsa diaria y un 12.70% 1 bolsa llena.

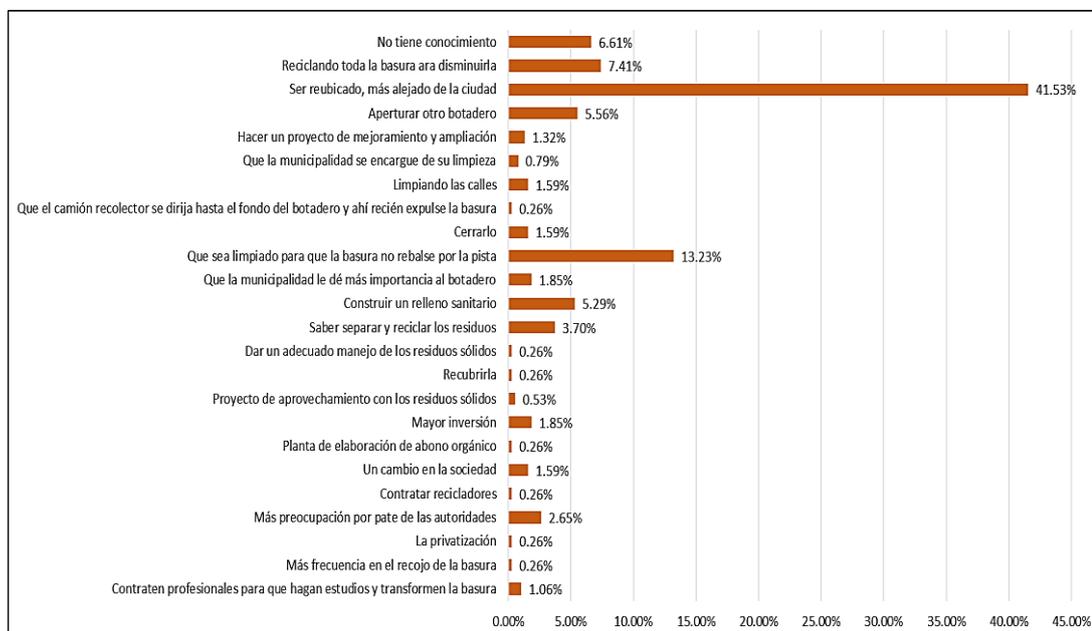
### Item 12: ¿Con que frecuencia pasa el camión recolector por su vivienda?



**Figura 19.** Resultados del Item 12

Nota: De los 378 encuestados principalmente el 51.32% respondieron que el camión recolector pasa todos los días por su vivienda, y el 25.66% de lunes a sábado.

### Item 13: ¿Cuál cree usted que sería la solución para la mejora del estado actual del botadero municipal?



**Figura 20.** Resultados del Item 13

Nota: De los 378 encuestados el 41.53% considera que la solución para la mejora del estado actual del botadero municipal sería ser reubicado, más alejado de la ciudad, sin embargo, la solución técnica sería la construcción de un relleno sanitario.

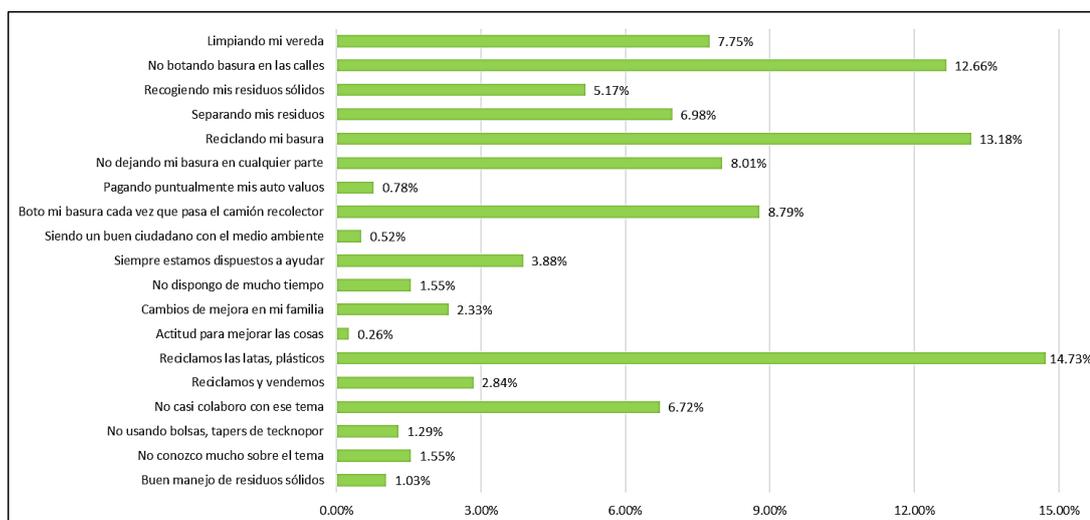
Item 14: ¿Qué opina sobre la importancia de la municipalidad de Moyobamba al tema de los residuos sólidos?



**Figura 21.** Resultados del Item 14

Nota: De los 378 encuestados el 34.39% opina sobre la importancia de la municipalidad de Moyobamba al tema de los residuos sólidos que están trabajando bien, preocupados en el tema y el 19.05% que se ve comprometido en el tema.

Item 15: ¿Cómo contribuye usted con su comunidad con el gran problema de los residuos sólidos?



**Figura 22.** Resultados del Item 15.

Nota: De los 378 encuestados respondieron que contribuyen con su comunidad con el gran problema de los residuos sólidos; el 14.73% reciclando las latas y plásticos, 13.18% reciclando la basura y el 12.66% no botando basura en las calles.

### 3.1.2. Criterios de diseño de celdas para disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba

## A. Cálculo de la población

La población del distrito de Moyobamba se ha ido incrementando a través de los años según el censo, así tenemos:

**Tabla 6**

*Datos históricos de población del distrito de Moyobamba*

<b>Censo</b>	<b>Población Rural</b>	<b>Población urbana</b>	<b>Población Total</b>
1,981	6,736	14,376	21,112
1,993	14,080	24,800	38,880
2,007	22,358	42,690	65,048
2,017	18,601	57,724	76,325

Fuente: INEI – Censos Nacionales: 1981, 1993, 2007 y 2017

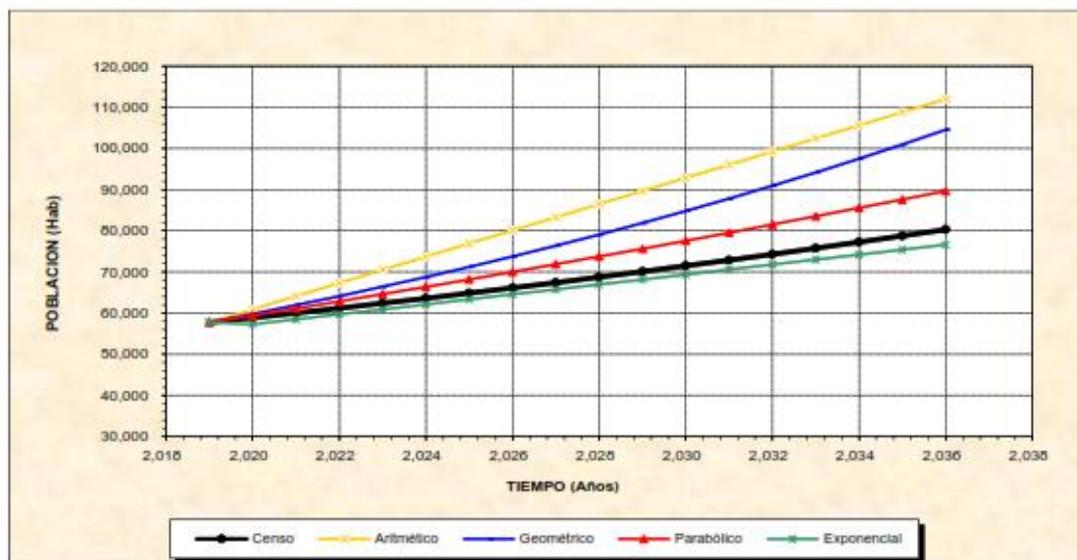
Nota: Población del distrito de Moyobamba total considerada para el cálculo de la tasa de crecimiento, la cual se ha evaluado el comportamiento de la población mediante cinco métodos diferentes: Aritmético, geométrico, parabólico y exponencial modificado.

**Tabla 7**

*Comparativa de métodos para tasa de crecimiento poblacional*

<b>Año</b>	<b>Censo</b>	<b>Aritmético</b>	<b>Geométrico</b>	<b>Parabólico</b>	<b>Exponencial Modificado</b>	<b>Curva Elegida</b>	
2,017	57,724	57,724	57,724	57,724	57,724	57,724	
2,018	58,855	60,917	59,777	59,400	57,266	59,777	
2,019	60,009	64,110	61,902	61,102	58,475	61,902	
2,020	61,185	67,303	64,103	62,829	59,684	64,103	
2,021	62,384	70,496	66,383	64,581	60,893	66,383	
2,022	63,607	73,689	68,743	66,359	62,102	68,743	
2,023	64,854	76,882	71,188	68,162	63,311	71,188	
2,024	66,125	80,075	73,719	69,990	64,520	73,719	
2,025	67,421	83,268	76,340	71,844	65,729	76,340	
2,026	68,742	86,461	79,055	73,723	66,938	79,055	
2,027	70,090	89,655	81,866	75,628	68,147	81,866	
2,028	71,464	92,848	84,777	77,558	69,357	84,777	
2,029	72,864	96,041	87,791	79,513	70,566	87,791	
2,030	74,292	99,234	90,913	81,494	71,775	90,913	
2,031	75,748	102,427	94,146	83,499	72,984	94,146	
2,032	77,233	105,620	97,494	85,531	74,193	97,494	
2,033	78,747	108,813	100,960	87,587	75,402	100,960	
2,034	80,290	112,006	104,550	89,669	76,611	104,550	
<b>Sumatoria</b>	1,231,636	1,527,569	1,421,430	1,316,194	1,195,676		
<b>Diferencia</b>	-	295,933	189,794	84,558	-35,960		
			Tasa de crecimiento				<b>3,56%</b>

Fuente: Datos de la tabla 6



**Figura 23.** Curva de crecimiento poblacional

Nota: Para la determinación de la tasa de crecimiento se ha elegido el método geométrico, considerando que el distrito de Moyobamba es una población urbana

**Tabla 8**

*Proyección de la población urbana distrito de Moyobamba*

PROYECCIÓN	AÑO	POBLACIÓN URBANA DEL DISTRITO DE MOYOBAMBA
2019	0	61908
2020	1	64112
2021	2	66395
2022	3	68758
2023	4	71206
2024	5	73741
2025	6	76366
2026	7	79085
2027	8	81900
2028	9	84816
2029	10	87835

Nota: Población urbana estimada al año 2019 (Año base) y proyectada para el diseño de la celda diaria mediante crecimiento geométrico, donde  $P_{2017}=57,724$ ;  $tc=3,56\%$  y  $t= 2$  años

## B. Generación de residuos

Se tiene para una Gpc de 0.54 kg/hab/día, por lo tanto, para el año cero, es decir, 2019 el distrito de Moyobamba tiene una generación de residuos de 0,56 kg/hab/día., sobre

la base se aplicó una tasa de crecimiento del 1% para los residuos sólidos domiciliarios y para los no domiciliarios se proyectó el crecimiento en la generación de residuos sólidos con la tasa de crecimiento.

**Tabla 9**

*Proyección de la generación total de residuos sólidos del distrito de Moyobamba*

AÑO	POBLACIÓN	GPC (kg/día)	GENERACIÓN DOMICILIARIA (t/día)	GENERACIÓN NO DOMICILIARIA (t/día)	GENERACIÓN TOTAL (t/día)	GENERACIÓN RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES (t/año)
2019	61,908	0.56	34.44	5.15	39.60	14,452.79
2020	64,112	0.56	36.03	5.34	41.36	15,097.52
2021	66,395	0.57	37.68	5.53	43.21	15,771.30
2022	68,758	0.57	39.41	5.72	45.14	16,475.05
2023	71,206	0.58	41.22	5.93	47.15	17,210.59
2024	73,741	0.58	43.12	6.14	49.26	17,979.13
2025	76,366	0.59	45.10	6.36	51.46	18,782.14
2026	79,085	0.60	47.17	6.58	53.76	19,621.34
2027	81,900	0.60	49.34	6.82	56.16	20,498.08
2028	84,816	0.61	51.61	7.06	58.67	21,414.40
2029	87,835	0.61	53.98	7.31	61.29	22,371.73
PROMEDIO		0.59	43.56	6.18	49.73	18,152.19

Nota: Población urbana estimada y proyectada, GPC proyectada con tasa de crecimiento de generación de 1%, donde: (GPC 2016= 0.54 kg/día); Generación no domiciliaria y proyectada.

### C. Cálculo de volumen y área total

**Tabla 10**

*Volumen de residuos sólidos y material de cobertura del distrito de Moyobamba*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m <sup>3</sup> )	VAR: (m <sup>3</sup> /Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura	VARD: (m <sup>3</sup> /Año)	VARD ACUMULADO: (m <sup>3</sup> /Año)
2020	15097.52	0.60	25162.54	25.00	6290.63	31453.17	31453.17
2021	15771.30	0.60	26285.50	25.00	6571.37	32856.87	64310.04
2022	16475.05	0.60	27458.42	25.00	6864.61	34323.03	98633.07
2023	17210.59	0.60	28684.32	25.00	7171.08	35855.40	134488.47
2024	17979.13	0.60	29965.22	25.00	7491.30	37456.52	171944.99
2025	18782.14	0.60	31303.56	25.00	7825.89	39129.46	211074.45
2026	19621.34	0.60	32702.24	25.00	8175.56	40877.80	251952.25
2027	20498.08	0.60	34163.47	25.00	8540.87	42704.34	294656.59
2028	21414.40	0.60	35690.67	25.00	8922.67	44613.34	339269.92
2029	22371.73	0.60	37286.22	25.00	9321.56	46607.78	385877.70

Nota: Densidad de residuos sólidos estabilizados = 0.6 Ton/m<sup>3</sup>; Volumen anual de residuos (VAR = Generación/ Densidad), Volúmenes anuales de residuos dispuestos (VARD = VAR + Material de cobertura).

**Tabla 11***Área requerida para disposición final de residuos sólidos del distrito de Moyobamba*

AÑO	VARD	Altura promedio	AUM (m <sup>2</sup> )	Área Total	
				(m <sup>2</sup> )	(ha)
2020	31453.17	4.0	7863.29	10222.28	1.02
2021	64310.04	4.0	16077.51	20900.76	2.09
2022	98633.07	4.0	24658.27	32055.75	3.21
2023	134488.47	4.0	33622.12	43708.75	4.37
2024	171944.99	4.0	42986.25	55882.12	5.59
2025	211074.45	4.0	52768.61	68599.20	6.86
2026	251952.25	4.0	62988.06	81884.48	8.19
2027	294656.59	4.0	73664.15	95763.39	9.58
2028	339269.92	4.0	84817.48	110262.73	11.03
2029	385877.70	4.0	96469.43	125410.25	12.54

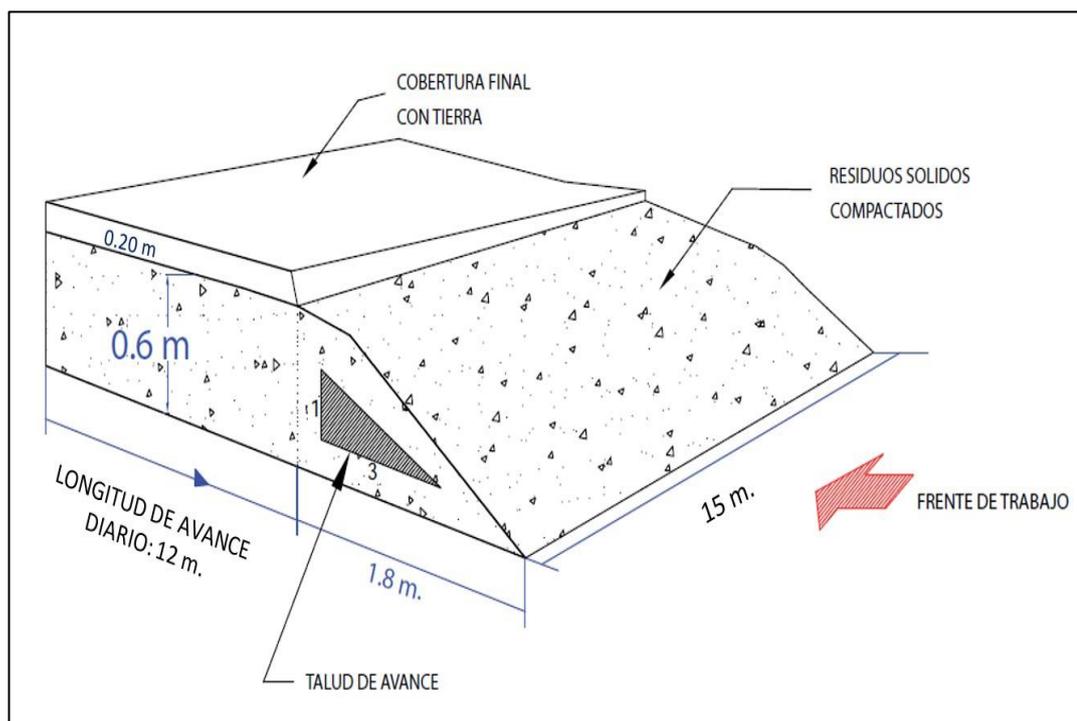
Nota: Volúmenes anuales de residuos dispuestos (VARD), altura recomendable = 3 a 6 m; Área útil mínimo (AUM= VARD/altura), Área adicional, infraestructura y amortiguamiento de impactos (m<sup>2</sup>) = 30%. (AT=AUM\*1.3), de donde a 10 años se requiere en total 12.54 ha

### 3.1.3. Modelo de diseño de celdas para la disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba

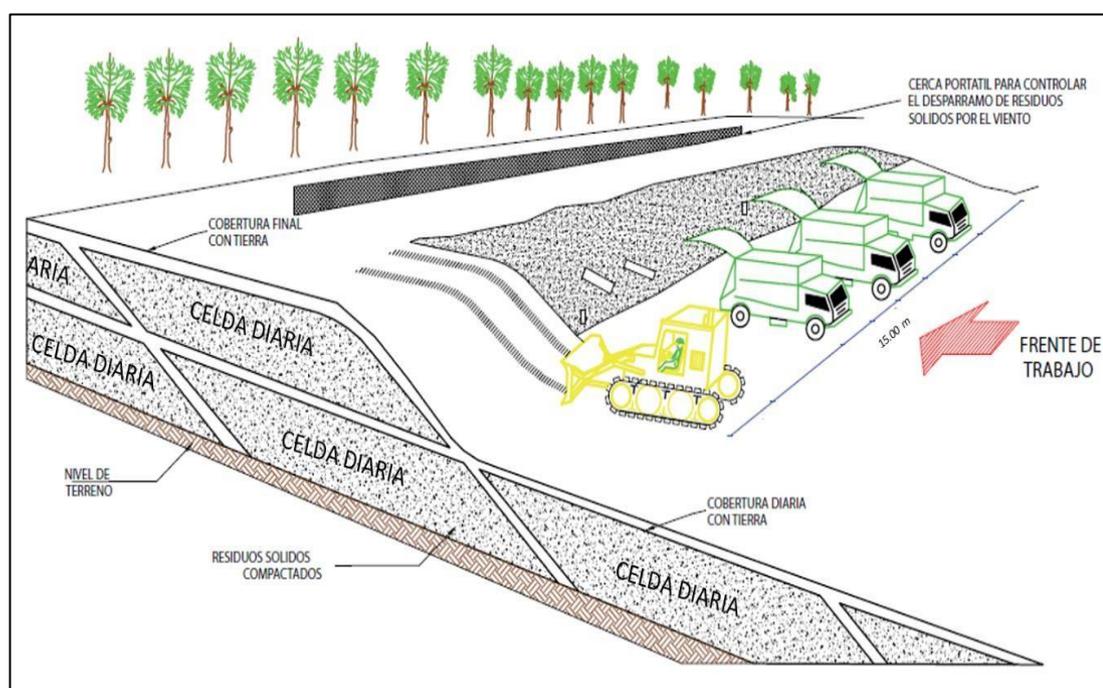
**Tabla 12***Estimación de la celda diaria para la disposición final de residuos sólidos*

Año	Generación de Res.Sólidos (diario)		Volúmen diario (m <sup>3</sup> )			Dimensiones de la celda diaria			
	Generación total (ton)	Total diario (ton)	RRSS	Mat. Cobertura	Total	Altura de la celda (m)	Área Sup. De Celda (m <sup>2</sup> )	Largo o avance de la celda "l" (m)	Ancho de la celda "l" (m)
2020	41.36	41.36	91.92	22.98	114.90	0.8	143.6	9.6	15.0
2021	43.21	43.21	96.02	24.01	120.03	0.8	150.0	10.0	15.0
2022	45.14	45.14	100.30	25.08	125.38	0.8	156.7	10.5	15.0
2023	47.15	47.15	104.78	26.20	130.98	0.8	163.7	10.9	15.0
2024	49.26	49.26	109.46	27.37	136.83	0.8	171.0	11.4	15.0
2025	51.46	51.46	114.35	28.59	142.94	0.8	178.7	12.0	15.0
2026	53.76	53.76	119.46	29.87	149.33	0.8	186.7	12.5	15.0
2027	56.16	56.16	124.80	31.20	156.00	0.8	195.0	13.0	15.0
2028	58.67	58.67	130.38	32.59	162.97	0.8	203.7	13.6	15.0
2029	61.29	61.29	136.21	34.05	170.26	0.8	212.8	14.3	15.0

$D_{(RS\ comp)} = 0.45 \text{ Ton/m}^3$ ;  $V_{(mat.cob.)} = 25\%$  del Vol. Relleno; altura de la celda 0.6m recomendable para una buena compactación; 0.2m de material de cobertura hasta una  $h_{m\acute{a}x} = 4.0 \text{ m}$ ; ancho de celda con un compactador y 03 vehículos recolectores al mismo tiempo en el frente de trabajo.



**Figura 24.** Isométrico de celda diaria promedio. (Fuente: Datos de la tabla 12).



**Figura 25.** Frente de trabajo diario en el botadero.

Nota: Propuesta de diseño de celda diaria para una adecuada disposición final de los residuos sólidos del distrito de Moyobamba

Finalmente se calculó el caudal de lixiviados como dato para considerar un diseño de tratamiento requerido

**Tabla 13**

*Generación de lixiviados-Modelo Suizo*

<i>Año</i>	<i>Pp Anual (mm)*</i>	<i>Área superficial del terreno (m2)</i>	<i>Coefficiente respecto al grado de compactación de los RRSS (k)</i>	<i>Producción de Aguas Lixiviadas (l/s)</i>	<i>Producción de Aguas Lixiviadas (m3/día)</i>	<i>Producción de Aguas Lixiviadas (m3/año)</i>
2020	1,354.00	52,421.30	0.29	0.653	56.39	20583.748
2021	1,354.00	54,764.60	0.29	0.682	58.91	21503.868
2022	1,354.00	57,206.45	0.29	0.712	61.54	22462.685
2023	1,354.00	59,761.45	0.29	0.744	64.29	23465.931
2024	1,354.00	62,429.60	0.29	0.777	67.16	24513.607
2025	1,354.00	65,218.20	0.29	0.812	70.16	25608.578
2026	1,354.00	68,130.90	0.29	0.848	73.29	26752.279
2027	1,354.00	71,175.00	0.29	0.886	76.57	27947.576
2028	1,354.00	74,354.15	0.29	0.926	79.99	29195.901
2029	1,354.00	77,679.30	0.29	0.967	83.57	30501.554

\*Fuente: Senamhi 2019; densidad de compactación es de  $0.45 \text{ ton/m}^3$ ; área superficial del terreno (Celda diaria\*365);  $t = 31536000\text{s}$ ;  $K = 0.25 - 0.50$  : Si:  $D_{\text{comp}} = 0.4 - 0.7 \text{ ton/m}^3$ ;  $K = 0.15 - 0.25$  : Si:  $D_{\text{comp}} > 0.7 \text{ ton/m}^3$

### 3.2. Discusiones

En general los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con los resultados de Pavón (2012), el cual a través de la identificación y valoración de impactos determinó los problemas ambientales que actualmente ocasiona al medio ambiente el botadero controlado del cantón Pastaza debido a la inadecuada forma de disposición final de los mismos, en el caso de la ciudad de Moyobamba los impactos son similares, determinado además a través de la encuesta de satisfacción a la población sobre el servicio de disposición final que brinda la municipalidad de Moyobamba que de los 378 encuestados el 97.4% conoce que son los residuos sólidos; el 2.6% no conoce; el 50.5% separa y dispone adecuadamente los residuos sólidos que genera; el 49.5% no realizan dicha práctica; el

97.4% conoce que residuos se pueden reciclar; el 2.6% no conocen; el 65.9% tiene conocimiento del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos no Peligrosos”; el 34.1% no conocen; el 64.8% tiene conocimiento del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos”; el 35.2% no conocen; el 74.1% ha recibido información sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos; el 25.9% no lo hizo; el 96.0% cree que mediante la sensibilización se puede reducir la mala disposición final de los residuos sólidos; el 4.0% no; el 80.7% conoce sobre el estado actual del botadero; el 19.3% no tiene conocimiento.

Así mismo con Martínez (2013) que mediante la recopilación de datos por medio de una encuesta realizada a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) y visitas técnicas a los mismos, se establece un modelo de gestión limpia, en la cual se fundamenta en la manipulación y disposición de residuos sólidos separados, en la ciudad de Moyobamba se determinó aspectos relacionados a la gestión de residuos sólidos donde de los 378 encuestados principalmente el 27.51% consideran dentro de algunas alternativas de solución para una adecuada disposición final de los residuos sólidos, el sensibilizar a la población en estos temas; el 76.7% consideran que el servicio de recojo en la ciudad es bueno, el 19.0% califican como regular y un 4.2% no está conforme con este servicio; el 19.58% consideran que 1 kg diario de residuos sólidos se genera en su hogar, un 14.29% considera 1/2 bolsa diaria y un 12.70% 1 bolsa llena; el 51.32% respondieron que el camión recolector pasa todos los días por su vivienda, y el 25.66% de lunes a sábado; el 41.53% considera que la solución para la mejora del estado actual del botadero municipal sería ser reubicado, más alejado de la ciudad, sin embargo la solución técnica sería la construcción de un relleno sanitario; el 34.39% opina sobre la importancia de la municipalidad de Moyobamba al tema de los residuos sólidos que están trabajando bien, preocupados en el tema y el 19.05% que se ve comprometido en el tema; finalmente respondieron que contribuyen con su comunidad con el gran problema de los residuos sólidos; el 14.73% reciclando las latas y plásticos, 13.18% reciclando la basura y el 12.66% no botando basura en las calles. Sobre el cual se aproxima a los resultados de Pérez (2004) quien concluye que el sistema actual de manejo de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Calzada se viene realizando de manera inadecuada.

Finalmente los resultados en la presente permiten reafirmar según Viteri (2015) que el diseño de la celda diaria tiene como objetivo minimizar los impactos ambientales generados por la disposición final de residuos sólidos, para lo cual, se determinó la cantidad de residuos sólidos

generada en la ciudad de Moyobamba, con estos datos se procedió al dimensionamiento de la celda diaria, así como también a la elaboración del manual de operación de la misma, para finalmente implementar o ejecutar la propuesta por parte de las entidades correspondientes, y de esa manera solucionar la inadecuada disposición final de los residuos sólidos generados por la población urbana de la ciudad de Moyobamba.

## CONCLUSIONES

- El diseño de celdas para la disposición final de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba es óptimo, dado que se realizó utilizando softwares y datos actualizados para el correcto dimensionamiento y funcionabilidad, contribuyendo así a minimizar los impactos ambientales generados por la disposición final de residuos sólidos, además de la elaboración del manual de operación de la misma para finalmente implementar y poner en ejecución en situ.
- En la actualidad el estado situacional de la gestión integral de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba es deficiente, dado que vienen desarrollando las actividades del manejo de residuos sólidos sin contar con las herramientas y procedimientos adecuados, lo cual se ve reflejada en la calidad del servicio y muchas veces en la improvisación de tecnologías que proponen solucionar el manejo de los residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final.
- Los criterios de diseño de celdas para disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba como población, características del terreno, generación domiciliaria per cápita (GPC) con la validación respectiva, de la zona urbana del distrito de Moyobamba queda determinada al 2019 en 0.56 kg/hab./día y las características de los residuos sólidos; determinan la eficiencia para el dimensionamiento.
- El modelo de diseño de celdas para la disposición final de residuos sólidos municipales de la ciudad de Moyobamba es variable en función al volumen diario generado, considerando un equipo pesado y 3 compactadores se determinó como promedio un ancho de 15m, estimando así un avance de celda diaria de 12m y una altura de 0.8m, constituido por 0.60m de residuo solido para una buena compactación y 0.20m de material de cobertura diaria.

## RECOMENDACIONES

- A la Municipalidad provincial de Moyobamba, considerar los resultados en su planificación, implementación, ejecución, control y monitoreo adecuado en la gestión integral de residuos sólidos incluyendo en la construcción de un relleno sanitario con tratamiento de lixiviados, que contribuya de esta manera a la protección y conservación del medio ambiente.
- Para futuras investigaciones usar software profesional para cálculos y diseño de celdas diarias y comparar haciendo modelos de simulación respecto a la operación diaria respectivamente.
- Al público en general, pueden considerar los resultados obtenidos para otras investigaciones, formulación de proyectos de inversión pública en general, estudios básicos y para la ejecución de obras de saneamiento futuras en la zona de estudio.
- A la Unidad de Gestión de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Moyobamba es necesario emprender acciones de sensibilización en la población, en cuanto a la importancia de los servicios de residuos sólidos y los recursos necesarios para su sostenibilidad; de modo que se maximice su eficiencia y se promueva la recaudación de arbitrios para su sostenibilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMAS, C. E., ARMAS, C. E., & DÍAZ, J. *Ciencia química conceptos fundamentales*. Trujillo: libertad EIRL, 1996.
- BANCO MUNDIAL. *Informe de 2018. Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050*. [en línea] 2019, [fecha de consulta: 10 agosto 2019]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>
- CASTELO, LUIS. *El pueblo del Elen de guano*. Guano : Gutemberg, 2014.
- COLLAZOS, H. *Diseño y operación de rellenos sanitarios*. 3ra. ed. Colombia: escuela colombiana de ingeniería; 2008.
- DECRETO LEGISLATIVO N° 1278. *Ley de gestión integral de residuos sólidos*. Ministerio del ambiente. Lima – Perú, 2016.
- DERETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM. *Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Lima – Perú, 2017.
- EGUIZABAL R. *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Perú: Red de instituciones especializadas en capacitación para la gestión integral de los residuos sólidos; 2008.
- ERAZO R. & WOOLCOTT J.C. *Diseño de Proceso para Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) Generados en el Cono Norte de la Ciudad de Lima*. Revista Peruana de Ingeniería Química, Lima – Perú, 2003.
- ECRS – *Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales 2016-Moyobamba-San Martín. Expediente Técnico “Relleno sanitario, planta de tratamiento de residuos orgánicos y planta de separación de residuos inorgánicos reciclables para las ciudades de Yantaló, Calzada, Soritor y Moyobamba, provincia de Moyobamba, departamento de San Martín”*. Código SNIP N° 87398. MINAM, 2016.
- GARRIGUES. *Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos. El consultor de los ayuntamientos y de los juzgados*. Ecoiuris. Madrid. 909 pp. 2003

- FONDO NACIONAL DEL AMBIENTE – FONAM. *Gestión Integral del Agua y Residuos Sólidos*. [en línea] 2019, [fecha de consulta: 18 agosto 2019]. Disponible en: <https://fonamperu.org.pe/residuos-solidos/>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA – INEI. *Estadísticas Municipales 2016*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática., Lima – Perú. 2017.
- JARAMILLO, JORGE. *Gestión integral de residuos sólidos municipales-GIRSM. Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. Medellín*. 1999.
- LIBRO VI ANEXO 6. *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos*. [en línea] 2012, [fecha de consulta: 25 agosto 2019]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112185.pdf>
- MARTÍNEZ MEDINA GABRIELA NATHALY: *Evaluación técnica, económica y ambiental de la gestión de residuos sólidos en gobiernos autónomos descentralizados con población menor a 60000 habitantes*. (Tesis de pre grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador. 2013.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE – MINAM. *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Lima . Perú, 2008.
- MONTES, CAROLINA. Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos. Colombia: Universidad Externado de Colombia, 2009.
- MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte. *Atlas Nacional de España. Edafología. Sección II. Grupo 7*. Ed. Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid. 1992.
- OPS/CEPIS. *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente división de salud y ambiente* (2002).
- ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL – OEFA. *La Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos*. [en línea] 2014, [fecha de consulta: 18 julio 2019]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/fiscalizacion-ambiental-residuos-solidos>.

- PAVÓN SAGUAY CRISTIAN MARCELO. *Propuesta de diseño de plataforma de disposición final de desechos sólidos en el botadero controlado del cantón Pastaza con un tiempo de vida útil de 3 años*. (Tesis de grado). Universidad Estatal Amazónica, Ecuador, 2012.
- PERALTA Y ZAMORA. *Contaminación atmosférica producida por la quema de asura en las pampas de Reque*, 2002.
- ROMÁN GUILLÉN GUSTAVO ANGEL. *Evaluación del diseño de la infraestructura de disposición final de residuos sólidos del ámbito municipal de Cajamarca, distrito de Jesus, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca*.
- GUERRERO DÍAZ YMMER ELÍ. *Propuesta técnica para la disposición final de residuos sólidos domésticos del distrito de Alonso de Alvarado – Roque 2014*
- PÉREZ VILLAR, NIEVES REGINA. *Manejo de Residuos Sólidos en la Ciudad de Calzada*. Moyobamba – Perú, 2004.
- PINTO, MAURICIO. *Régimen jurídico y ambiental de los residuos sólidos*. Colombia: Universidad Externado de Colombia, 2009.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL –SINIA. *Mapa nacional de ubicación de infraestructuras de disposición final*. [en línea] 2019, [fecha de consulta: 19 abril 2019]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ubicacion-infraestructuras-disposicion-final-2019>
- VIERENDEL. *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. 4ta ed. Lima – Perú, 2009. [27]
- VILLÓN, M. *Hidrología*. 3era ed, Lima – Perú: Villón, 2011.
- VITERI ROMERO JAIRO PATRICIO. *Diseño de una celda diaria de confinamiento de residuos sólidos para el actual relleno sanitario del Tena* (Tesis de grado), Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba – Ecuador, 2015

## **ANEXOS**



## Anexo B.

### Encuesta de diagnóstico situacional del manejo de residuos sólidos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
FACULTAD DE ECOLOGÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



#### ENCUESTA

Sector: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

#### A. Sobre la percepción del encuestado

1. ¿Sabe usted qué son los residuos sólidos?

Si: No: Porqué:

.....

2. ¿Separa y dispone adecuadamente los residuos sólidos que usted genera?

Si: No: Porqué:

.....

3. ¿Tiene usted conocimiento de qué residuos sólidos se pueden reciclar?

Si: No: Porqué:

.....

4. ¿Tiene conocimiento acerca del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos no Peligrosos?”

Si: No: Porqué:

.....

5. ¿Tiene conocimiento del “Plan de Manejo de Residuos Sólidos Peligrosos?”

¿baterías, envases de aceites de vehículos, envases de tecknopor?

Si: No: Porqué:

.....

6. ¿Alguna vez ha recibido información sobre el manejo y disposición de los residuos sólidos?

Si: No: Porqué:

.....

7. ¿Cree usted que mediante la sensibilización se puede reducir la mala disposición de los residuos sólidos?

Si: No: Porqué:

.....

8. ¿Tiene conocimiento sobre el estado actual del botadero municipal?

Si: No: Porqué:

.....

**B. Sobre el conocimiento del encuestado**

9. ¿Qué soluciones usted propondría para una adecuada disposición final de los residuos sólidos?

.....

10. ¿Cómo calificaría usted el servicio de recojo que se brinda en la ciudad de Moyobamba?

.....

11. ¿Conoce aproximadamente la cantidad de residuos que genera en su hogar?

.....

12. ¿Con que frecuencia pasa el camión recolector por su vivienda?

.....

13. ¿Cuál cree usted que sería la solución para la mejora del estado actual del botadero?

.....

14. ¿Qué opina sobre la importancia de la municipalidad de Moyobamba al tema de los residuos sólidos?

.....

15. ¿Cómo contribuye usted con su comunidad con el gran problema de los residuos sólidos?

.....

MUCHAS GRACIAS.

## **Anexo C.**

### **Manual de operación de la celda**

#### **MANUAL DE OPERACIÓN DE LA CELDA DIARIA**

##### **1. Objetivo**

Plantear los procedimientos para la operación de la celda de confinamiento de residuo sólidos en el botadero de la ciudad de Maoyobmaba.

##### **2. Metodología**

###### **Operación diaria**

Una vez que los camiones llegan al punto de descarga, el personal del botadero les deberá dar las indicaciones pertinentes a los conductores de los mismos, de forma que se efectúe la disposición de los residuos en el punto de descarga. Se deberá asegurar el tráfico de camiones para la descarga y realizar un control de tráfico que realicen la descarga disponiéndose un mínimo de 3 m entre camiones.

La actividad de descarga de los camiones deber realizarse en el menor tiempo posible y ningún vehículo de transporte podrá realizar otra actividad ajena a dicha actividad. La descarga de los residuos sólidos se realizará en el pie del talud.

La maquinaria pesada procederá a empujar, preferentemente de abajo hacia arriba, los residuos descargados en el frente de trabajo, blandeándose en el área correspondiente a la celda diaria y conformando un talud de pendiente 3 horizontal a 1 vertical e incrementando la altura del talud conformando con capas de una altura hasta alcanzar los niveles definidos. Durante la operación de bandeo, se realizará de forma simultánea, la compactación de las capas de residuos ya colocados dentro del área de la celda mediante pasadas sucesivas de la máquina, sobre los residuos conformados.

A continuación se adjunta un esquema con las fases realizadas en el frente de trabajo para el relleno de celdas.

###### **Compactación de los residuos**

La primera tongada de residuos de 60 cm se dispone sobre las tierras de protección (última capa de impermeabilización); los primeros 10 cm se dispondrán sin compactación para garantizar la estabilidad de la capa de tierra de protección.

La compactación de los residuos sólidos, se llevará a cabo entre 3 y 5 pasadas con la compactadora, con el objetivo de llegar a valores de peso volumétricos de  $700 \text{ kg/ m}^3$ .

Todos los residuos sólidos que hayan sido recibidos, deberán ser cubiertos al final de cada día de operación. Así mismo se llevará un control de llenado de las celdas.

Se deberá elaborar una base de datos que incluya volúmenes acumulados secuencia de llenado de celdas, franjas, capas y etapas.

### **Cubrición de celda**

Al final de cada día de operación, los residuos compactados, o dispuestos en balas, serán cubiertos por una capa de tierra de aproximadamente 20 cm de espesor, cada 4 tongadas o capas de balas (2,5 m altura total). El propósito de esta cubierta diaria, es reducir la infiltración de agua debido a precipitaciones y, por consiguiente, disminuir la formación de lixiviado. Además esta capa eliminará el problema de proliferación de roedores e insectos, ya que el residuo quedaría cubierto a diario, evitaría el esparcimiento de papeles y plásticos producidos por el viento, protegerá al botadero contra incendios, al ser ésta cubierta incombustible, evitará en cierta medida la presencia de malos olores y facilitará el acceso de vehículos a los puntos de descarga, ya que es una capa de suelo compactado. El material para cubierta diaria será un material inerte de textura terrosa procedente de la excavación de la propia trinchera, procurando siempre un alto porcentaje de finos, tamaño menor que la arena, por lo que, si fuera necesario, se procederá a un cribado previo.

Existirá siempre un acopio de este material próximo a la zona de vertido con un volumen mínimo suficiente para abastecer 5 días de gestión. El material almacenado será cargado en cargadores al final del día de operación para luego ser transportado y derramado directamente sobre el frente de residuo descubierto, o mediante pala cargadora. El cargador frontal extenderá el material uniformemente formando una capa homogénea de 20 cm sobre el residuo. Esta capa compactada por el paso de la maquinaria se le dará una ligera inclinación para así, permitir drenar el agua en caso de precipitación.

### **Cubierta intermedia**

La cubierta intermedia se instalará en la capa final de la plataforma de residuos. La función de esta cubierta es la misma que la anterior pero dado que esta estará expuesta a la intemperie por períodos más largos que la anterior ha de tener un carácter más duradero.

Por esta razón de durabilidad, la cubierta intermedia será una capa de aproximadamente unos 20 cm con unas características similares a la anterior. La cubierta se instalará con un cargador frontal en 2 tongadas que una vez compactadas serán de 10 cm. Las pendientes de esta cubierta tendrán una inclinación máxima de 3H:1V. Lo que se pretende con el compactado y pendientes moderadas es evitar que el suelo sea lavado durante episodios de lluvia, y limitar la liberación sin control del biogás.

Ésta cubierta podrá ser levantada cuando se decida operar de nuevo el frente de residuo. El objeto de este levantamiento es tener un mayor aprovechamiento del volumen del botadero para el distrito de Moyobamba.

## Anexo C.

## Panel fotográfico del proceso de investigación



*Fotografía 01.* Aplicación Encuesta Barrio Lluyllucucha



*Fotografía 02.* Aplicación Encuesta Barrio Zaragoza



*Fotografía 03.* Aplicación Encuesta Barrio Belen



*Fotografía 04.* Aplicación Encuesta Barrio Calvario



*Fotografía 05:* Estado actual del botadero municipal de la ciudad de Moyobamba.



*Fotografía 06:* Inadecuada disposición de residuo sólidos



*Fotografía 07.* Trincheras de disposicon final inadecuadas.



*Fotografía 08.* Frente de trabajo diario