

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL
DISTRITO DE ANTAUTA PARA UN VERTEDERO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SSOLHANNA VALERIANO YANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA
BORRADOR DE TESIS

**GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL
 DISTRITO DE ANTAUTA PARA UN VERTEDERO**

PRESENTADA POR:

Bach. SSOLHANNA VALERIANO YANA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO



PRESIDENTE

:



Dr. GREGORIO PALOMINO CUELA

1ER MIEMBRO

:



Dr. ROGER HUANQUI PEREZ

2DO MIEMBRO

:



Ing. PERCY ELOY MAMANI LUQUE

DIRECTOR DE TESIS:



M.Sc. CIRO HERNAN VERA ALATRISTA

ÁREA: Medio Ambiente

TEMA: Gestión Integral de los Residuos Sólidos

LINEA: Tecnología Ambiental y Recursos Naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 10 de junio de 2019

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a DÍOS, por darme la oportunidad de aun estar aquí con vida y dejarme cumplir uno de mis anhelos más grandes en la vida ser Ingeniero.

*Dedicarle a mi querido **padre APOLINAR VALERIANO** y mi querida **madre FABIANA YANA** que han sido mi más grande fortaleza y agradecerles por su apoyo y confianza, a mi **hermana YUNE JULIA** por todos los consejos brindados, por tu tiempo y comprensión. Y a todas aquellas personas que han sido mi soporte amigos, familiares durante todo el periodo de estudio y vida.*

Ssolhanna Valeriano Yana

AGRADECIMIENTO

Primeramente, gracias a ti Señor por ser mi guía y permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi vida y por acompañarme día a día para poder lograr mi objetivo.

Al M.Sc. Ciro Hernan Vera Alatrística, por su invaluable colaboración, generosidad y confianza que me brindo para la culminación de mi trabajo de tesis, también agradecerle por acceder por ser mi director.

Al Dr. Gregorio Palomino Cuela, Dr. Roger Huanqui Perez y Ing. Percy Eloy Mamani Luque por su apoyo, observaciones y sugerencias para la culminación del proyecto de tesis.

A todos los Señores Catedráticos de la Facultad de Ingeniería Química, por haberme impartido sus enseñanzas y experiencias durante el largo camino del aprendizaje y constante formación profesional.

A la Universidad Nacional del Altiplano, por habernos ofrecido y otorgado una profesión.

A mi familia por tenerme confianza y apoyo para la culminación de este trabajo de tesis.

Muchas gracias a todos.

Ssolhanna Valeriano Yana

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.2. OBJETIVOS.....	21
1.2.1. Objetivo general	21
1.2.2. Objetivos específicos	21
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. MARCO TEÓRICO	22
2.1.1. Naturaleza y Organización actual del Servicio de Limpieza Pública.	22
2.1.2. Residuos Sólidos	23
2.1.3. Clasificación de residuos sólidos.....	23
2.1.4. Propiedades físicas	27
2.1.5. Propiedades Químicas	29
2.2. MARCO CONCEPTUAL	29
2.2.1. Botadero	29
2.2.2. Vertedero	30
2.2.3. Vertedero sanitario manual.....	30
2.2.4. Diseño de un vertedero sanitario manual	31
2.2.5. Evacuación.	33
2.2.6. Vertedero Sanitario.....	34
2.2.7. Métodos de rellenos sanitarios	37
2.2.8. Estimación de la Generación de lixiviados	41
2.2.10. Aspectos legales	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....	50
3.2. MATERIALES.....	51
3.2.1. Materia prima	51
3.2.2. Materiales y equipo	51

3.2.3.	Cálculo del tamaño de la muestra.....	51
3.2.4.	Selección de lugares de muestreo.....	53
3.2.5.	Toma de Muestras	53
3.2.6.	Segregación.	54
3.2.7.	Pesado de Componentes:.....	54
3.2.8.	Unidades de Medida	55
3.2.9.	Análisis de Datos	55
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE SE GENERAN EN EL DISTRITO DE ANTAUTA	55
3.3.1.	Proyección de la población.....	56
3.3.2.	Estudio de generación de residuos sólidos municipales.....	56
3.3.3.	Generación y composición de los residuos sólidos del distrito de Antauta	57
3.3.4.	Producción per cápita de los residuos sólidos proyectado (ppc).....	58
3.4.	PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS Y CANTIDAD DE GAS Y LIXIVIADOS QUE SE PRODUCEN EN EL VERTEDERO.	59
3.4.1.	Propiedades físicas de los RSM	59
3.4.2.	Material de cobertura (m.c.)	61
3.4.3.	Cálculo del área requerida	62
3.4.4.	Propiedades químicas	63
3.4.5.	Cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos.....	64
3.4.6.	Composición, formación del control del lixiviado en el vertedero	65
3.5.	DISEÑO DEL VERTEDERO MANUAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE ANTAUTA (PLANTA MANUAL DE RSM).....	66
3.6.	DISPOSICIÓN FINAL	68
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	70
4.1.	RESULTADOS.....	70
4.1.1.	Caracterizar los residuos sólidos que se generan en el distrito de Antauta	70

4.1.2.	Propiedades y composición físico química de los residuos sólidos generados en el distrito de Antauta y cantidad de gas y lixiviados que se producen en el vertedero	71
4.1.3.	Diseño del vertedero manual para la disposición final de los residuos sólidos del distrito de Antauta	72
CONCLUSIONES		75
RECOMENDACIONES		76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		77
ANEXOS.....		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Cálculo de volumen	28
Tabla 2.Porcentajes típicos de humedad	29
Tabla 3.Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	43
Tabla 4.Datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos domésticos, industriales	86
Tabla 5. Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los RSM	87
Tabla 6.Proyección de la población del distrito de Antauta	94
Tabla 7.Generación per cápita de las “61” viviendas participantes.....	95
Tabla 8.Estadísticos de Muestra	96
Tabla 9.Composición de residuos sólidos del distrito de Antauta	97
Tabla 10.Generación de Residuos Sólidos del distrito de Antauta.....	98
Tabla 11.Generación del volumen de residuos sólidos del distrito de Antauta	99
Tabla 12. Área requerida	101
Tabla 13.Contenido de humedad	102
Tabla 14.Composición química en base seca	104
Tabla 15.Composición química en base Húmeda.....	106
Tabla 16.Distribución Potencial de los Elementos	107
Tabla 17.Componentes de los RSM rápidamente y lentamente	107
Tabla 18.Composición molar de los elementos	108
Tabla 19.Cálculos para determinar las relaciones normalizadas	109
Tabla 20.Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de los elementos funcionales en un sistema de Gestión de Residuos Sólidos. Tomado de Tchobanoglous et al 1995.....	34
Figura 2. Método de trinchera para relleno manual.....	36
Figura 3. Método de trinchera para relleno mecanizado	37
Figura 4. Método de trinchera para construir un Relleno Sanitario.....	38
Figura 5. Método de área para construir un Relleno Sanitario	39
Figura 6. Método de área para rellenar depresiones	40
Figura 7. Método combinado para construir un Relleno Sanitario.....	41
Figura 8. Balance Hídrico en un Relleno Sanitario	43
Figura 9. Ubicación del Distrito de Antauta	50
Figura 10. Distrito de Antauta	50
Figura 11. Método del cuarteo para obtener la muestra de los residuos sólidos	54
Figura 12. Muestra del proceso de segregación de los residuos sólidos.....	54
Figura 13. Secuencia metodológica del estudio.....	67
Figura 14. Terreno para la ubicación del vertedero	68
Figura 15. Composición de Residuos Sólidos del distrito de Antauta.....	70
Figura 16. Planta de tratamiento de RS de un sistema integrado de tratamiento y disposición final de RSM.....	73
Figura 17. Lugar de ubicación del vertedero.	74
Figura 18. Proyección de la población del distrito de Antauta	94
Figura 19. Composición de Residuos Sólidos del distrito de Antauta.....	98
Figura 20. Composición química de los residuos sólidos base seca.....	105
Figura 21. Composición física de residuos sólidos en base seca en porcentajes.....	105
Figura 22. Composición química de los residuos sólidos base húmeda.....	106
Figura 23. Volquete recolector de RS.	113
Figura 24. Residuos sólidos en el distrito de Antauta.....	113
Figura 25. Recolección de residuos sólidos en viviendas.....	113
Figura 26. .Proceso de tratamiento de residuos sólidos en el distrito de Antauta	114
Figura 27. Clasificación de residuos sólidos	114
Figura 29. Distrito de Antauta	115

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
RSM	: Residuos sólidos municipales
PVC	: Policloruro de vinilo
PE-LD	: Low Density Polyethylene (polietileno de baja densidad)
PP	: Polipropileno
PS	: Poliestireno
PET	: Tereftalato de polietileno
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
EIA	: Estudio de impacto ambiental
SUNARP	: Superintendencia Nacional de Registros Públicos
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
MINAM	: Ministerio del Ambiente
OPS	: Organización Panamericana de Salud
PPC	: Producción per cápita
M.C	: Material de cobertura
RSD	: Residuos sólidos domiciliarios
SEIA	: Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
IGA	: Instrumento de Gestión Ambiental
GRSM	: Generación de Residuos Sólidos Municipales
RSU	: Residuos sólidos urbanos
PIGARS	: Planes Integrales de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es la gestión integral de los residuos sólidos del distrito de Antauta destinado a un vertedero, dentro de las actividades que se realizaron se conformó un punto de partida básicamente con la identificación de la condición actual del manejo de los residuos sólidos de la zona de estudio, así como de la composición de los mismos, siendo factible la realización de la mencionada investigación pues se propone el tratamiento y disposición final de los residuos en un vertedero, se caracterizó los residuos sólidos que se generan en el distrito de Antauta, donde el peso húmedo de los residuos sólidos es de 1,77 t/día, peso seco de 1,148 t/día, densidad de 256,22 kg/m³ con un volumen de 3 069 m³, siendo la selección cuantificada de subproductos de la siguiente manera: residuos de comida 0,24 t/día (13,55 %), papel 0,23 t/día (12,99 %), cartón 0,18 t/día (10,16 %), plásticos 0,090 t/día (5,08 %), textiles 0,1 t/día (5,64 %), madera 0,06 t/día (3,38 %), vidrio 0,42 t/día (23,72 %), latas de hojalata 0,11 t/día (6,21 %), aluminio 0,010 t/día (0,56 %), otros metales 0,07 t/día (3,95 %), suciedad, cenizas, etc. 0,26 t/día (14,68 %). La cantidad de gas que se podrá generar de la descomposición de los constituyentes orgánicos se estimó para la fracción rápidamente descomponible 811,54 m³ de gas metano; 424,48 m³ de dióxido de carbono y para fracción lentamente descomponible es de 241,53 m³ de metano y 144,67m³ de dióxido de carbono, determinándose la cantidad de lixiviados de 501 m³/año. La disposición final del vertedero estará ubicada en la Provincia de Melgar, Distrito de Antauta, Comunidad de Inkaumiña, a 15 km del distrito de Antauta y tendrá un área de 1 328,60 m² para el primer año de funcionamiento y la proyección para 10 años es de 14 489,644 m².

Palabras clave: Producción per cápita, propiedades físicas y químicas, residuos sólidos, vertedero, Antauta.

ABSTRACT

The research objective is the integral management of solid waste from the district of Antauta destined for a landfill, inside the activities that were carried out, a starting point was basically established with the current condition identification of solid waste management in the study area, as well as the same composition, being feasible the realization of the mentioned research because it is proposed the treatment and final disposal of the waste in a landfill, the solid waste generated in Antauta district was characterized, where the wet weight of the solid waste is of 1,77 t / day, dry weight of 1,148 t / day, density of 256,22 kg / m³ with a volume of 3 069 m³, with the quantified selection of by-products as follows: food waste 0,24 t / day (13,55%), paper 0,23 t / day (12,99%), cardboard 0,18 t / day (10,16%), plastics 0,090 t / day (5,08%), textiles 0,1 t / day (5,64%), wood 0,06 t / day (3,38%), glass 0,42 t / day (23,72%), tinplate cans 0,11 t / day (6,21%), aluminum 0,010 t / day (0,56%), other metals 0,07 t / day (3,95%), dirt, ash, etc. 0,26 t / day (14,68%). The gas amount that can be generated from the decomposition of the organic constituents was estimated for the rapidly decomposable fraction 811,54 m³ of methane gas; 424,48 m³ of carbon dioxide and for slowly decomposable fraction is 241,53 m³ of methane and 144,67 m³ of carbon dioxide, determining the leachate amount of 501 m³ / year. The final disposal of the landfill will be located in Melgar Province, Antauta District, Inkaumiña Community, 15 km from Antauta District and will have an area of 1 328.60 m² for the first year of operation and the projection for 10 years it is 14 489,644 m².

Keywords: Per capita production, physical and chemical properties, solid waste, landfill, Antauta.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda la problemática del manejo actual de los residuos sólidos urbanos (RSU) del distrito de Antauta, provincia de Melgar, región Puno. El distrito de Antauta está ubicado al norte de la región Puno, rodeada de geoformas positivas y negativas con cotas que van desde los 3 840 a 4 200 m.s.n.m., dentro de las coordenadas geográficas Longitud Oeste: 14°18'00", Latitud Sur: 70°17'42". Su extensión territorial es de 636,2 km², tiene una población estimada en 4 683 habitantes y una densidad poblacional de 39 hab/km².

El manejo de los residuos sólidos se ha convertido en un problema que afecta en general a todas las actividades, personas y espacios, no sólo por lo que representa en términos de recursos abandonados, sino por la creciente incapacidad para encontrar lugares que permitan su acomodo correcto desde un punto de vista ecológico. También se atribuye su problemática a la falta de coordinación entre los diferentes entes encargados de su manejo y a su vez entre los mismos productores que muchas veces no sienten responsabilidad alguna por los residuos que producen.

Los residuos sólidos comprenden todos los residuos que provienen de actividades animales y humanas, que normalmente son sólidos y que son desechados como inútiles y superfluos. Comprende tanto la masa heterogénea de los desechos de la comunidad urbana como la acumulación más homogénea de los residuos agrícolas, industriales y minerales. (Tchobanoglous 1994).

Y aunque la responsabilidad es compartida entre los generadores y los responsables de su recolección, ninguno de los dos ha planteado una verdadera solución al problema y al contrario, se han convertido en un obstáculo más para lograr la solución a este problema en nuestro País.

Una de las principales características de las sociedades avanzadas en la década de los noventa es la importancia y prioridad asignada a las cuestiones ambientales. Problemas como el crecimiento imparable de los desechos sólidos, los vertidos industriales incontrolados o el efecto invernadero por combustión energética, son cuestiones relevantes en las actuales agendas políticas tanto a nivel nacional como internacional. Esta prioridad ha puesto en primera línea de debate el uso de instrumentos económicos de regulación como parte de las políticas ambientales y, como una categoría destacada dentro de ellos, el diseño y aplicación de nuevas figuras impositivas con dicha finalidad. (Dianderas 2011).

La municipalidad distrital de Antauta no es ajeno a este problema, ya que la gestión y manejo de los residuos sólidos tiene deficiencias técnicas, operativas y limitaciones en cuanto a la disponibilidad de recursos, equipamiento e infraestructura. Además, no cuenta con estudios sobre la generación y composición de RSD urbanos con potencial de recuperación y reaprovechamiento que permita diseñar e implementar un sistema de separación y recuperación de residuos sólidos, razón por la cual, los RSD y otros de origen municipal son depositados directamente en el botadero sin ningún tipo de tratamiento y la otra parte son arrojados en las calles, en los alrededores de la zona urbana, entre otros lugares. (Mamani, 2017).

El manejo de los residuos sólidos es una combinación de métodos de generación, almacenamiento, recolección, transporte, transferencia, tratamiento y disposición final; que tienen una jerarquía establecida para la operatividad y para la toma de decisiones y definición de estrategias locales y nacionales (Medina & Jiménez, 2001).

El presente trabajo de investigación trata sobre la factibilidad de una gestión integral de residuos sólidos que mejor se adapta a las necesidades del distrito de Antauta, para aprovechar los residuos sólidos domiciliarios que se producen en la zona a través de

un vertedero y determinar los volúmenes de residuos sólidos que se generan del distrito de Antauta como consecuencia del consumo per cápita de recursos y determinar el área del vertedero, diseñando un vertedero manual para la disposición final de los residuos sólidos, determinando la cantidad de gas y lixiviados que se producen en el vertedero.

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- Pellón Alexis Arrechea, *et al.* (2009). Los resultados obtenidos mostraron el elevado contenido de materia orgánica expresado en términos de DQO y DBO₅ tanto en época de lluvia como en seca, con media geométrica de concentración de coliformes fecales entre 104 y 105 NMP/100mL. Se comprobó que no existen diferencias significativas entre los lixiviados provenientes de los diferentes vertederos evaluados ($\alpha = 0,05$). A partir del balance hídrico se obtuvo un estimado de 42 m³/d de lixiviado (época de lluvia) con un mínimo de 13 m³/d (seca), comparable con los resultados reportados en la literatura.

La tecnología se distingue por lo siguiente: tanque séptico - filtro anaerobio - sistema de lagunas, con la que se garantiza la reducción del principal contaminante, expresado en términos de DQO y DBO₅ de 2011 a 75 mg/L y de 902 a 30 mg/L respectivamente, así como de microorganismos patógenos, asegurando además la disposición final del residuo tratado.

- Giraldo, (1997). En general se reportan unos excelentes rendimientos de la tecnología para la remoción de la mayoría de los contaminantes. Igualmente se observa que las aplicaciones han sido para lixiviados con concentraciones de DBO relativamente bajas, menores a 1000 mg/l, es decir, lixiviados viejos, o lixiviados a los cuales se les ha realizado un pretratamiento previo. Se habla de concentraciones relativamente bajas, porque dentro de los rangos de DBO de los lixiviados de rellenos sanitarios de países en desarrollo se tienen concentraciones en los lixiviados jóvenes del orden de las decenas de miles de miligramos por litro, es decir, entre 10 y 40 veces más concentrados que los que se reportan en la literatura técnica. Se debe entonces tener cautela en la aplicación de la tecnología de manera directa a lixiviados jóvenes, especialmente de aquellos que se

encuentran en los países en desarrollo. Otra ventaja que se reporta con frecuencia en el caso del ósmosis inversa son los bajos consumos energéticos que requiere la tecnología cuando se compara con otras tecnologías como la oxidación biológica o la evaporación.

- Fernández (2010), tiene como resultado que el método más adecuado es la de trinchera o zanja, pues es el método que mejor se adapta a la topografía del terreno y que el material de excavación será utilizado para cubrir los residuos. El presupuesto para la inversión asciende a \$ 718 338,82 dólares y los costos de operación y mantenimiento es de \$ 1 081 416,7 dólares durante los 9 años de vida útil de los residuos.
- Umaña (2002), evalúa las características específicas de la zona de estudio, con una ficha de evaluación sencilla y fácil de utilizar tanto en evaluaciones preliminares como en estudios completos de selección de sitio para relleno sanitario que contempla 13 factores de campo (variables) como son: permeabilidad, nivel freático, drenaje superficial, tipo de suelo, topografía, vocación y uso de suelo, material de cobertura, aceptación social, facilidad de acceso, distancia de recorrido, incidencia de vientos, cercanía a zonas urbanas y el costo de terreno. Dichos factores de campo son sometidos a un sistema de valorización por el método de peso y escala. Los resultados indican que la ficha de evaluación de sitios es muy confiable en la medida que se tenga información hidrológica, geológica e hidrogeológica de las zonas en donde se ubican los terrenos, pretende ordenar los datos recabados y poder comparar los sitios. El resultado obtenido de la ficha no pretende valorar un sitio por si solo ni proporcionar una escala para sitios factibles permite obtener la mejor alternativa para esa área geográfica y solo es posible cuando se evalúa toda la región hidrográfica.
- Zapata & Zapata (2013), propone un método de evaluación de impacto de los rellenos sanitario considerando las actividades de operación, características fisicoquímicas del lixiviado, a través de un matriz de importancia, clasificándolo en

impactos críticos, severos, moderados e irrelevantes permitiendo identificar las actividades más impactantes y los factores más afectados. Se determinó que la operación del relleno impacta en mayor medida al componente físico y biótico, generando efectos como alteración de la calidad del aire, pérdida de flora acuática y terrestre y disminución de calidad de agua.

- Palma *et al* (2004), indica que es posible evaluar la estabilidad en rellenos sanitarios, analizando sus condiciones de equilibrio a partir de métodos geotécnicos tradicionales, aplicados a suelos.

Además, mediante la interacción de ensayos y modelos geotécnicos convencionales, es posible obtener y evaluar los parámetros resistentes en el análisis de la estabilidad global. Esta investigación consideraba entre sus objetivos, evaluar las condiciones de estabilidad de un relleno sanitario chileno a través de métodos de equilibrio límite, a partir del análisis de sus parámetros resistentes y su condición mecánica.

- Calva *et al.* (2014), su trabajo se basó en la evaluación de la gestión municipal de residuos sólidos urbanos en el municipio de Mexicali, el análisis comprendió una revisión documental, entrevistas semi-estructuradas y talleres participativos agrupados en tres apartados. El balance final mostro avances en el marco jurídico con una débil instrumentación operativa y la necesidad de crear o reforzar el desarrollo de investigación, conformación de mercados, monitoreo de información y participación pública.
- Sánchez M. *et al.* (2013), implementaron un Programa de Educación Ambiental con colaboración de docentes, empleados municipales y estudiantes de la FAyA-UNSE, logrando así un cambio de actitud de los vecinos de diferentes zonas. Desde julio del 2013 se realiza la recolección diferenciada a toda la población, recolectando lunes, miércoles y viernes los residuos biodegradables y enterrables, mientras que los martes y jueves los reciclables secos. El 65% de la población considera agradable la tarea de separación y el

35% considera que no es complicada. Además, se diseñó y construyó un nuevo sitio de disposición final con tres grandes zonas (zona de enterramiento, zona de separación y acopio y la zona de compostaje).

- Hidalgo (2012), realizó su investigación de forma explicativa y descriptiva, profundizando en investigación de campo y documentación bibliográfico. Determinando como resultados que el manejo no adecuado de los Residuos sólidos Municipales acusan graves daños al medio ambiente, y por ende a la salud de los habitantes del Cantón Archidona. Así también la recomendación básica que se dispone al realzar el diseño de un relleno sanitario manual que cubra con la demanda de la disposición final de los RSM durante los próximos 25 años, tomando énfasis en el manejo de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas.
- Pettiagiani E. *et al.* (2012), realizaron su estudio utilizando metodología descrita en la Norma IRAM 29.253; 2003, realizando estudios de caracterización de RSU, a su vez determinando la densidad de cada fracción de residuos. Los residuos obtenidos muestran que en Unquillo, el 24% de los residuos son reciclables fácilmente comercializables, principalmente celulósicos y metálicos, el 50% de residuos orgánicos son potencialmente aprovechables y solo el 24% de los residuos al momento tendría destino de disposición final en el relleno sanitario.
- Castrillón *et al.* (2004), Implementaron un programa denominado MIRS (manejo integral de residuos sólidos) y posteriormente evaluaron las experiencias educativas y ciertos beneficios económicos como el ahorro en la tasa de aseo, la producción de abono y venta de material reciclable, obteniendo como resultados durante los cinco semestres en que se desarrolló el programa se lograron ahorrar \$ 18 114,772 pesos en tasa de aseo, disminuyendo el volumen de residuos para su disposición final. Otros beneficios incluyeron la producción de abono y venta de material reciclable, concluyendo así a que

la implementación del MIRS ha sido una excelente experiencia debido a la campaña de educación ambiental en que se ha participado toda la comunidad académica de la Universidad Lasallista

- Jaramillo (2002). Presenta una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones, guía actualizada que abarca todas las etapas involucradas en la puesta en marcha de un relleno sanitario manual para pequeñas poblaciones. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Demostrar la factibilidad de una gestión integral de residuos sólidos que mejor se adapta a las necesidades del distrito de Antauta, para aprovechar los residuos sólidos domiciliarios que se producen en la zona a través de un vertedero.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los residuos sólidos que se generan en el distrito de Antauta.
- Evaluar las propiedades y composición físico química de los residuos sólidos generados en el distrito de Antauta y determinar la cantidad de gas y lixiviados que se producen en el vertedero.
- Diseñar un vertedero manual para la disposición final de los residuos sólidos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Naturaleza y Organización actual del Servicio de Limpieza Pública

El Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM.- Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, en su Artículo 5.- Regla para el aprovechamiento del material de descarte Los titulares de actividades productivas que posean material de descarte y aquellos que lo utilicen deben, previamente a su aprovechamiento, incluir los cambios que este implique en el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) aprobado ante su autoridad competente, de conformidad con las normas del SEIA y sus normas complementarias.

Los Residuos Sólidos en su totalidad deberán ser conducidos directamente a la planta de tratamiento, transferencia o al lugar de la disposición final autorizado por la Municipalidad Provincial, estando obligados los municipios distritales al pago de los derechos correspondientes. (Tchobanoglous *et al* 1995).

En el distrito de Antauta, el proceso de manejo de los residuos comprende las siguientes actividades: Generación, Almacenamiento, Barrido de Calles y Limpieza Pública, Recolección, Transporte y Transferencia y; Disposición Final. No se realizan las actividades relacionadas con la separación y el tratamiento (reciclaje de los residuos sólidos inorgánicos, compostaje de los residuos sólidos orgánicos, incineración de los RSU Peligrosos) y; la disposición final se realiza en un botadero pero sin ningún criterio técnico ni ambiental. (Municipalidad Distrital de Antauta 2019).

En lo que respecta a la organización, actualmente en la Municipalidad, el servicio de limpieza pública se brinda por Administración Municipal Directa, usando un modelo organizacional simple y precario. En su estructura organizativa está el Area de Limpieza Pública y Ornato.

2.1.2. Residuos Sólidos

Residuos sólidos es 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. (D.L N° 1278, Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos).

2.1.3. Clasificación de residuos sólidos

El conocimiento que se tiene a la fecha sobre los residuos sólidos, ha desarrollado varias formas de clasificarlos: (Tchobanoglous 1995)

- Por su origen, esto es donde o quien los genera
- Por su composición química: materia orgánica y materia inorgánica.
- Por los riesgos potenciales: peligrosos, no-inertes e inertes.

2.1.3.1. Clasificación por su origen

- **Domiciliarios**

Son los residuos sólidos originados por la actividad diaria en los domicilios, y están constituidos por restos de alimentos (como cáscaras de frutas, verduras, etc.), productos deteriorados, periódicos y revistas, envases, embalajes en general, papel higiénico, pañales desechables y una gran diversidad de otros artículos. Contienen además algunos residuos que pueden ser peligrosos (como pilas, baterías, tintas, etc.)

- **Comerciales**

Son los residuos sólidos originados por los diversos establecimientos comerciales y de servicios, tales como mercados, abacerías, tiendas, bancos, hospedajes y hoteles, bares, restaurantes, escuelas, etc. Los residuos sólidos de estos establecimientos y servicios tienen un fuerte componente de papel, plásticos, embalajes diversos y residuos de aseo de los empleados y usuarios, como papel higiénico, pañuelos desechables, etc.

- **Barrido**

Son los residuos sólidos originados por los servicios que se obtiene como producto de la limpieza pública urbana, de calles, plazas, ferias comerciales y artesanales, resto de poda de árboles, etc.

- **Servicios de Salud (Hospitalarios)**

Son los residuos sólidos producidos por servicios de salud, tales como: hospitales, clínicas, laboratorios, farmacias, clínicas veterinarias, puestos de salud, etc. Están constituidos por:

- **Residuos comunes:** papeles, restos de comida, residuos de limpiezas generales (polvos, cenizas, etc.) y otros materiales que no entran en contacto directo con los pacientes o con los residuos contaminados. Son considerados como residuos domiciliarios.
- **Residuos contaminados:** agujas, gasas, jeringas, vendas, algodones, órganos y tejidos extraídos y amputados, medios de cultivo y animales usados para ensayos, sangre coagulada, guantes desechables, medicinas vencidas, instrumentos de resina sintética, placas fotográficas de Rayos X, etc.

- **Industriales**

Son los residuos sólidos originados por las actividades de las diversas ramas de la industria, tales como, metalúrgica, química, petroquímica, papelera, alimentaría, etc.

Los residuos sólidos industriales son bastante variados, y pueden estar constituidos por cenizas, lodos, aceites, plásticos, papel, madera, fibras, llantas, metal, escorias, vidrios y cerámicas, etc. En esta categoría se incluye la mayor parte de los residuos sólidos considerados peligrosos.

- **Agrícolas**

Residuos sólidos de actividades agrícolas y pecuarias, como envases de abonos, insecticidas y herbicidas altamente tóxicos, etc.

- **Escombros**

Residuos de la construcción civil: demoliciones y restos de obras, tierra de excavaciones, etc. Los escombros generalmente son un material inerte, que puede ser reaprovechado.

2.1.3.2. Clasificación por su composición química

La utilidad de conocer la composición de residuos por su composición química sirve para determinar la cantidad de gases y lixiviados entre otros.

- **Orgánicos**

- **Residuos de Comida:** Residuos de la manipulación, preparación, cocción y consumo de comida.
- **Papel:** Periódicos usados, papel de alta calidad, revistas, papel mezclado, papel térmico de fax, etc.
- **Cartón.** Cartón/kraft usado y reciclable.
- **Plásticos:** PET (botellas de gaseosa), PE-HD (recipientes de agua y leche y botellas para detergentes), plásticos mezclados (no seleccionados), otros plásticos (PVC, PE-LD, PP y PS) plástico de película.
- **Textiles:** Ropa, trapos etc.

- **Goma:** Todas las clases de productos de goma, excluyendo neumáticos de vehículos motorizados.
 - **Cuero:** Zapatos, abrigos, casacas, tapicería.
 - **Residuos de Jardín:** Recortes de césped, hojas, poda de árboles y arbustos.
 - **Madera:** Materiales residuales de la construcción.
 - **Misceláneos:** Pañales desechables, cabello, pelo de animales menores, plumas, etc.
- **INORGÁNICOS**
 - **Vidrio:** Vidrio de recipientes (blanco, ámbar, verde, azul), vidrio plano.
 - **Latas de hojalata:** Envases de conservas, leche evaporada, etc.
 - **Aluminio:** Envases de bebidas, aluminio secundario (Ollas, tapas, chapas, etc.)

2.1.3.3. Por los riesgos potenciales: peligrosos, no-inertes e inertes

Los residuos peligrosos son aquellos que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosos representa un peligro para el equilibrio biológico, el ambiente o para los segregadores (Brown et al., 2003). En Perú, D.L N° 1278 Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos define consideran residuos peligrosos los que presenten por lo menos una de las siguientes características: autocombustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad.

Los envases que han sido utilizados para el almacenamiento o comercialización de sustancias o productos peligrosos y los productos usados o vencidos que puedan causar daños a la salud o al ambiente son considerados residuos peligrosos y deben ser manejados como tales, salvo que sean sometidos a un tratamiento que elimine sus características de peligrosidad.

2.1.4. Propiedades físicas

De acuerdo a Tchobanoglous et al. (1995), entre las propiedades físicas de los residuos se encuentran:

- **Peso específico**

Definido como el peso de un material por unidad de volumen (ejemplo Kg/m^3). Para gestionar los residuos es necesario identificar tanto el peso como el volumen, generalmente esta propiedad está dada para los residuos sueltos (no compactos); y dependiendo de factores tales como: localización geográfica, clima, y tiempo de almacenamiento se puede estimar una densidad desde 178 Kg/m^3 hasta 415 Kg/m^3 , siendo el valor típico de 300 Kg/m^3 (Tchobanoglous *et al* 1995). En el caso de los países de América Latina y el Caribe, el peso específico o densidad alcanza valores de 125 a 250 kg/m^3 (Jaramillo 2002).

- **Volumen**

El volumen total de los residuos sólidos que genera el distrito de Antauta, permitirá el diseño de infraestructura necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil del vertedero propuesto.

Tabla 1. Cálculo de volumen

Componentes	RS Total Húmedo t/día	Peso Específico Típico kg/m ³	Volumen m ³
ORGÁNICOS			
Residuos de Comida	36,67	291	126,00
Papel	6,55	89	73,54
Cartón	1,33	50	26,60
INORGÁNICOS			
Vidrio	1,11	196	5,68
Latas de hojalata	1,31	89	14,74
Aluminio	0,11	160	0,70
Otros Metales	0,21	320	0,64
Suciedad, cenizas, etc	12,16	481	25,27
Total	60,45	1676	273,17

Fuente: Tchobanoglous *et al.* 1995

- **Contenido de humedad**

Puede expresarse de dos formas; con el método de medición de peso – húmedo frecuentemente utilizado, en el que la humedad se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; y con el método de medición de peso – seco, referido a un porcentaje del peso del material seco (Tchobanoglous *et al.* 1995). En el caso de los países de América Latina y el Caribe, los residuos tienen un mayor contenido de materia orgánica y una humedad que varía de 35 a 55% (Jaramillo 2002). La ecuación para encontrar el contenido de humedad con el método peso – húmedo está dada por:

$$M = \frac{w - d}{w} * 100$$

Dónde:

M = Contenido de humedad en porcentaje

w = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse.

Tabla 2. Porcentajes típicos de humedad

Componentes	RSU Total t/día	Peso en %	Contenido de Humedad Porcentaje	Peso Seco t/día
ORGÁNICOS				
Residuos de	36.67	49.08	70	11.00
Comida	6.55	8.76	6	6.15
Papel	1.33	1.78	5	1.26
Cartón				
INORGÁNICOS				
Vidrio	1.11	1.49	2	1.09
Latas de	1.31	1.76	3	1.27
hojalata	0.11	0.15	2	0.11
Aluminio				
Total	48,08	63,02	88	20,88

Fuente: Tchobanoglous *et al.* 1995

2.1.5. Propiedades Químicas

Conocer la composición química de los componentes que conforman los residuos sólidos es importante para evaluar la cantidad de gases y lixiviados que se producirán y evaluar una futura opción de procesamiento y recuperación.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Botadero

Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que generan riesgos sanitarios o ambientales. Estas acumulaciones existen al margen de la Ley y carecen de autorización. (D.L. N° 1278, Gestión Integral de Residuos Sólidos).

2.1.2. Vertedero

Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos en los residuos municipales superficie o bajo tierra, basado en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental (D.L. N°1278, Gestión Integral de Residuos Sólidos). Es una técnica de disposición final de los desechos sólidos en el suelo, que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña 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 en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica. Elementos físicos que componen un sistema de gestión de residuos sólidos y sus interrelaciones. (Jaramillo, 2002).

2.1.3. Vertedero sanitario manual

Tecnología que se aplica cuando la mano de obra está disponible más fácilmente que la maquinaria que haría el mismo trabajo. Los obreros del relleno sanitario manual realizan todas actividades a mano: descarga, colocación, compactación y cubierta de los desechos, así como el mantenimiento de cunetas, construcción de chimeneas y drenajes, excavación de nuevos módulos etc. La tecnología del relleno manual tiene sus límites. La compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas. Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. No obstante, estas desventajas, suele ser la solución más conveniente para municipios y comunidades pequeñas, municipios ubicados en sitios aislados y municipios con fondos escasos. (Roben, 2002)

2.1.4. Diseño de un vertedero sanitario manual

Este requiere de información base del área seleccionada, a nivel de detalle en los aspectos de tipo, cantidad y composición de los residuos a manejar, la información meteorológica in situ o de la referencia representativa más cercana, así mismo es clave en el estudio topográfico que se defina el perfil natural del terreno, el coeficiente de permeabilidad y clase de suelo predominante sobre la base de mediciones u observaciones en campo y laboratorios especializados, en los párrafos que siguen a continuación se amplía la información de base mínima necesaria para un correcto diseño del relleno sanitario manual. (Eguizábal, 2009).

2.1.4.1. Residuos domiciliarios

Los residuos del ámbito de la gestión municipal o residuos municipales, están conformados por los residuos domiciliarios y los provenientes del barrido y limpieza de espacios públicos, incluyendo las playas, actividades comerciales y otras actividades urbanas no domiciliarias cuyos residuos se pueden asimilar a los servicios de limpieza pública, en todo el ámbito de su jurisdicción (D.L. N° 1278, Gestión Integral de Residuos Sólidos).

2.1.4.2. Segregación

Acción de agrupar determinados componentes o elementos físicos de los residuos sólidos para ser manejados en forma especial. (D.L. N° 1278, Gestión Integral de Residuos Sólidos).

2.1.4.3. Vida útil

Periodo estimado durante el cual el relleno sanitario estará apto para recibir residuos sólidos de manera continua (Jaramillo, 2002).

2.1.4.4. Generación de residuos.

Abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional, y son tirados o bien recogidos para la evacuación.. Esta etapa no está controlada todavía, pero se considera un método para limitar las cantidades de residuos generados en el futuro.

2.1.4.5. Separación de residuos, presentación, almacenamiento y procesamiento en el origen.

La separación de residuos en la fuente consiste en la clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior recuperación. Luego se procede a la presentación que es la actividad del usuario de envasar, empacar e identificar todo tipo de residuos sólidos para su almacenamiento y posterior entrega a la entidad prestadora del servicio de aseo. En este proceso se puede realizar un pretratamiento o procesamiento en el origen a los residuos aprovechables como la compactación y el compostaje de residuos de jardinería.

2.1.4.6. Recolección.

No solo incluye la recolección de los residuos y materiales reciclables, sino también el transporte de estos materiales, después de haberlos recogido, al lugar donde se vacía el vehículo de recogida. Este lugar puede ser una estación de transferencia, una instalación de procesamiento de materiales o un vertedero.

2.1.4.7. Separación, procesamiento y transformación de residuos sólidos.

Esta función abarca la recuperación de los elementos separados anteriormente, la separación y el procesamiento de los componentes de los residuos sólidos. La separación y el procesamiento de residuos que han sido separados en la fuente y la separación de residuos no seleccionados normalmente tienen lugar en las instalaciones de recuperación de materiales, estaciones de transferencia, instalaciones de incineración y lugares de

evacuación. El procesamiento generalmente incluye: la separación de objetos voluminosos, separación de los componentes de los residuos por tamaño utilizando cribas, separación manual de los componentes de los residuos, la reducción de tamaño mediante trituración, reducción del volumen mediante compactación y la incineración. Los procesos de transformación se usan para reducir el volumen y el peso de los residuos que han de evacuarse. Consta de una gran variedad de procesos químicos y biológicos como la incineración para recuperar energía en forma de calor y el compostaje anaerobio para transformación biológica.

2.1.4.8. Transferencia y transporte.

Comprende dos pasos: la transferencia de residuos desde un vehículo de recogida pequeño hasta un equipo de transporte más grande y el transporte subsiguiente de los residuos, a un lugar de procesamiento o evacuación.

2.1.5. Evacuación.

Actualmente, la evacuación de los residuos se hace normalmente a los vertederos controlados o mediante la extensión en superficie. Un vertedero controlado es una instalación de ingeniería utilizada para la evacuación de residuos sólidos en el suelo o dentro del manto de la tierra, generando así condiciones de salubridad y seguridad para la población.

Estas actividades se pueden resumir en un diagrama simplificado:

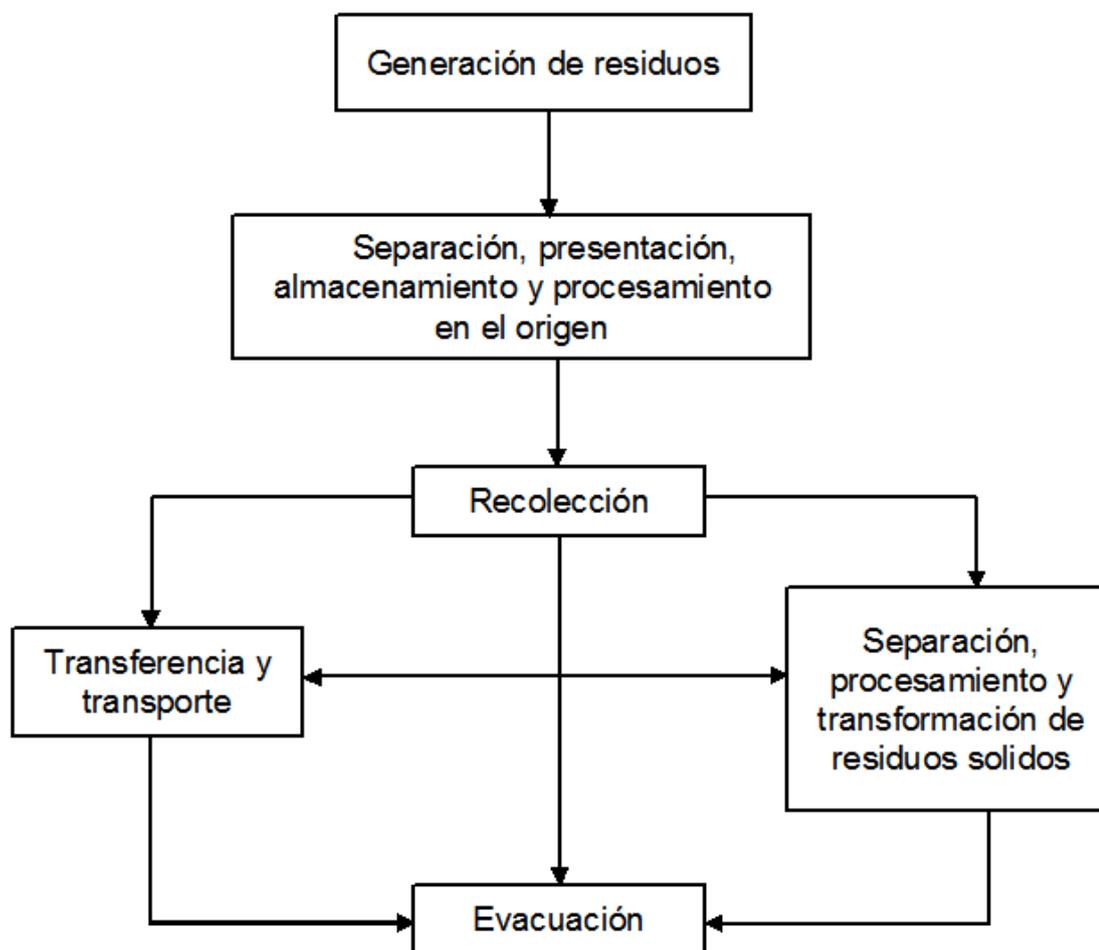


Figura 1. Diagrama de los elementos funcionales en un sistema de Gestión de Residuos Sólidos. Tomado de Tchobanoglous et al 1995.

Teniendo Cuando todos los elementos anteriores han sido evaluados para su uso y se conectan entre sí, generan mayor eficacia y rentabilidad. Así mismo, constituyen la columna vertebral del plan de gestión y de ahí la importancia que significa poder organizar la gestión de una manera ordenada y precisa. como base la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, se procede a elaborar un Plan de Gestión de Residuos Sólidos

2.1.6. Vertedero Sanitario

Los Vertederos o rellenos sanitarios convencionales o mecanizados son los que se aplican en todas las localidades con suficiente basura para justificar económicamente el uso de maquinaria liviana o pesada para las operaciones unitarias de excavar para preparar el terreno, aflojar material de cobertura, mover las basuras y cubrirlas. Es la técnica para

la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin ocasionar molestias o peligros para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar las basuras en el menor espacio posible, reduciendo su volumen al mínimo posible. La basura así depositada, se cubre con una capa de tierra, denominada material de cobertura con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada, esta capa de tierra tiene como finalidad asegurar un vertido sanitario sin malos olores, migración incontrolada de gases o atracción de vectores y animales”.

Como puede apreciarse, se trata de una obra de ingeniería, que se desarrolla en un área determinada y como resultado final produce la modificación de la topografía del terreno.

Su ejecución brinda un servicio que es la disposición final de los residuos sólidos producidos por el núcleo urbano. (Tchobanoglous *et al.* 1995).

Hay diferentes clases de vertederos de acuerdo a la disposición de terrenos para este fin y son los siguientes:

2.1. 6.1. Vertedero sanitario manual

Un vertedero o relleno sanitario manual (Jaramillo 1999), se presenta como una alternativa técnica y económica, tanto para las poblaciones urbanas y rurales menores de 40 000 habitantes, como para las áreas marginales de algunas ciudades que generan menos de 20 toneladas diarias de basura. Mediante la técnica de operación manual sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas y excavación de zanjas o material de cobertura, de acuerdo con el avance y método de relleno.

El esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realiza mediante el uso de herramientas simples como rastrillos, piones manuales, entre otros y la capacidad de

operación diaria no excede las 20 toneladas de residuos. Se restringe su operación en horario nocturno.



Figura 2. Método de trinchera para relleno manual.
Fuente: Tchobanoglous *et al* 1995.

2.1.6.2. Vertedero semi mecanizado

La capacidad máxima de operación diaria no excede las 50 toneladas de residuos y los trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipo mecánico, siendo posible el empleo de herramientas manuales para complementar los trabajos del confinamiento de residuos. (Tchobanoglous *et al* 1995).

2.1.6.3. Vertedero mecanizado

La operación se realiza íntegramente con equipos mecánicos como el tractor de oruga, cargador frontal y su capacidad de operación diaria es mayor a las 50 toneladas.

Es materia de la presente guía técnica exclusivamente la orientación respecto a los procedimientos previos, el diseño, la construcción y la operación del relleno sanitario manual. El método de disposición final de prácticamente todos los residuos sólidos municipales (RSM) lo constituye el relleno sanitario. Es el único admisible, ya que no representa peligro alguno ni riesgos para la salud pública. Además, minimiza la contaminación y otros impactos negativos en el ambiente.

Es una forma de disposición final de residuos sólidos urbanos en la tierra, a través de su confinamiento en capas cubiertas con materia inerte, generalmente tierra, según normas operacionales específicas, de modo de evitar daños o riesgos para la salud pública y la seguridad, minimizando los impactos ambientales. (Figura 3) (Tchobanoglous *et al* 1995).

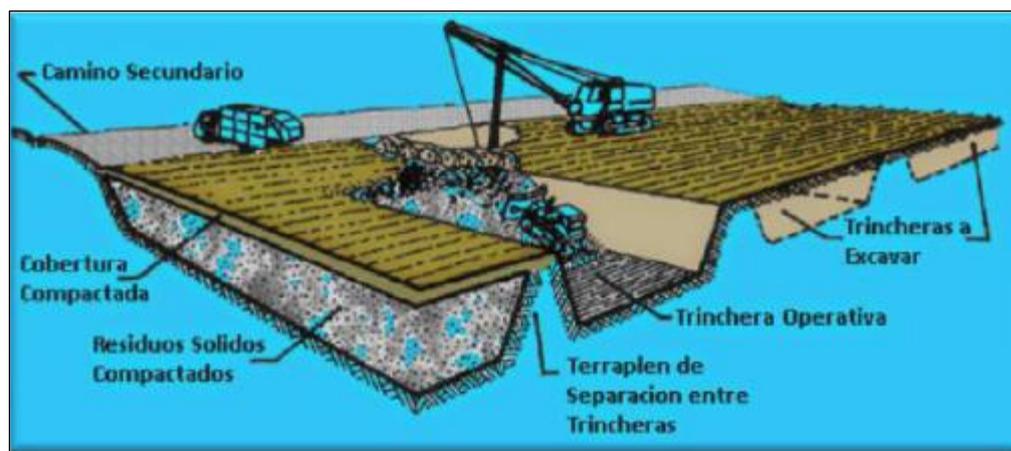


Figura 3. Método de trinchera para relleno mecanizado
Fuente: Tchobanoglous *et al* 1995.

2.1.7. Métodos de rellenos sanitarios

El método constructivo y la secuencia de la operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la TOPOGRAFIA del terreno escogido, aunque también dependen de la fuente del material de cobertura y de la profundidad del nivel freático. A continuación, describiremos los métodos más importantes en el diseño, construcción y operación de un relleno sanitario. (Tchobanoglous *et al.* 1995).

2.1.7.1. Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada.

Se debe tener especial cuidado en periodos de lluvias dado que las aguas pueden inundar las zanjas. De ahí que se deba construir canales perimétricos para captarlas y desviarlas e incluso proveer a las zanjas de drenajes internos. En casos extremos, se puede construir un techo sobre ellas o bien bombear el agua acumulada. Sus taludes o paredes deben estar cortados de acuerdo con el ángulo de reposo del suelo excavado.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación (figura 4).

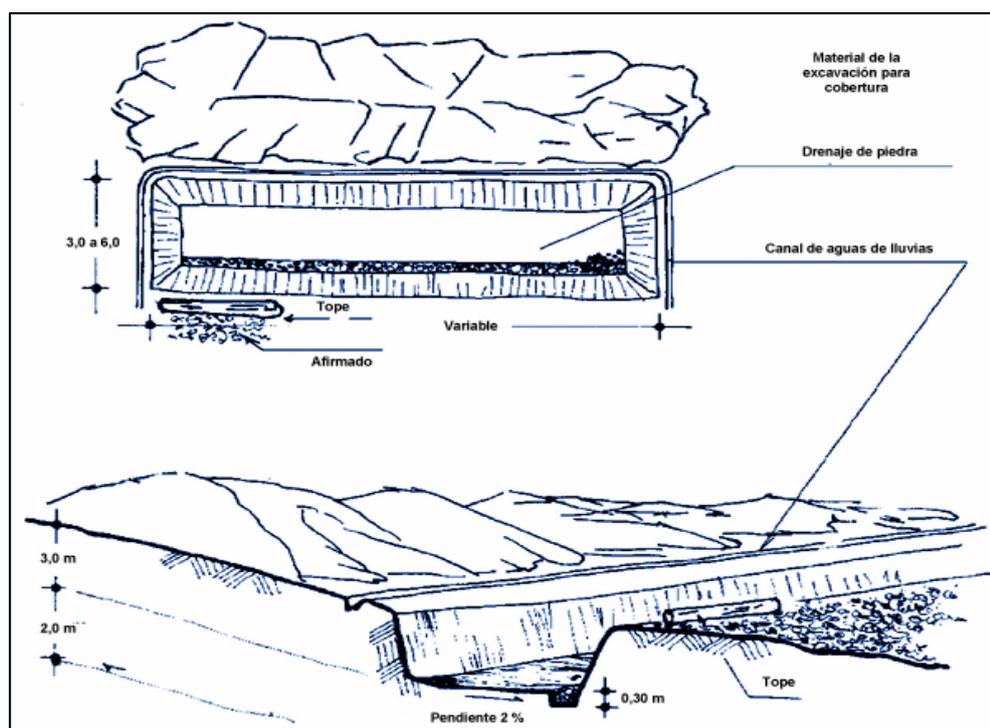


Figura 4. Método de trinchera para construir un Relleno Sanitario
Fuente: Jaramillo J.,(2002)

2.1.7.2. Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno (Figura 5).

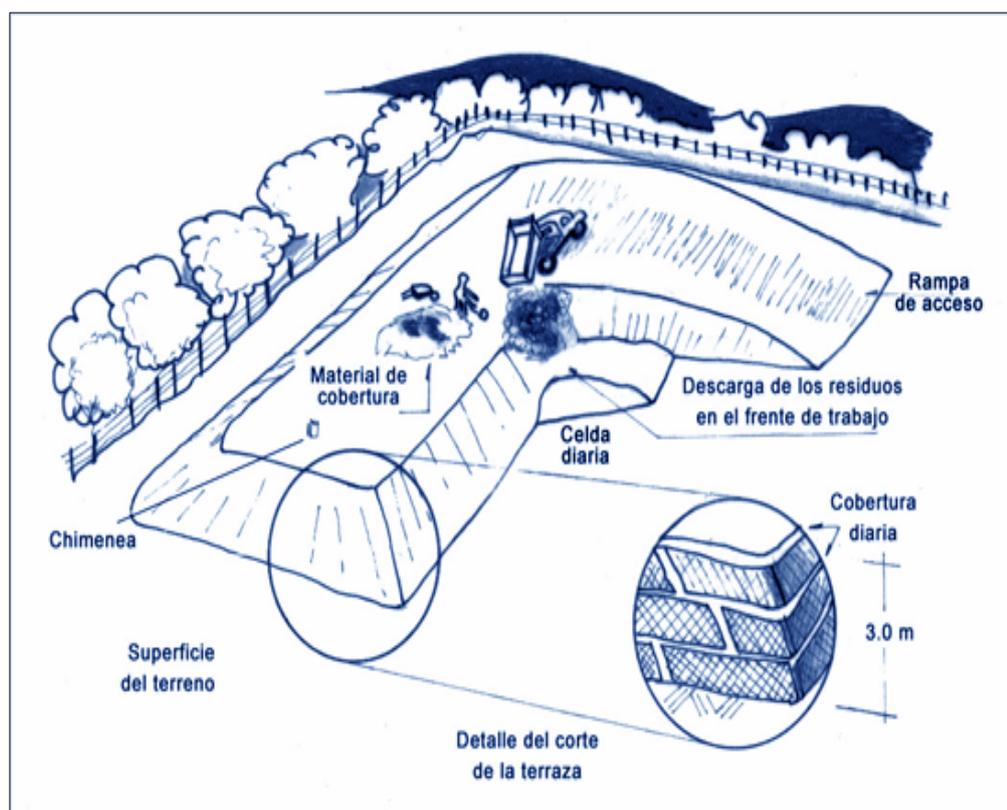


Figura 5. Método de área para construir un Relleno Sanitario
Fuente: Jaramillo J., (2002)

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La

operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

El relleno se construye apoyando las celdas en la pendiente natural del terreno; es decir, la basura se descarga en la base del talud, se extiende y apisona contra él y se recubre diariamente con una capa de tierra. Se continúa la operación avanzando sobre el terreno, conservando una pendiente suave de unos 18,4 a 26,5 grados en el talud; es decir, la relación vertical/horizontal de 1:3 a 1:2, respectivamente, y de 1 a 2 grados en la superficie, o sea, de 2 a 3,5% (figura 6).

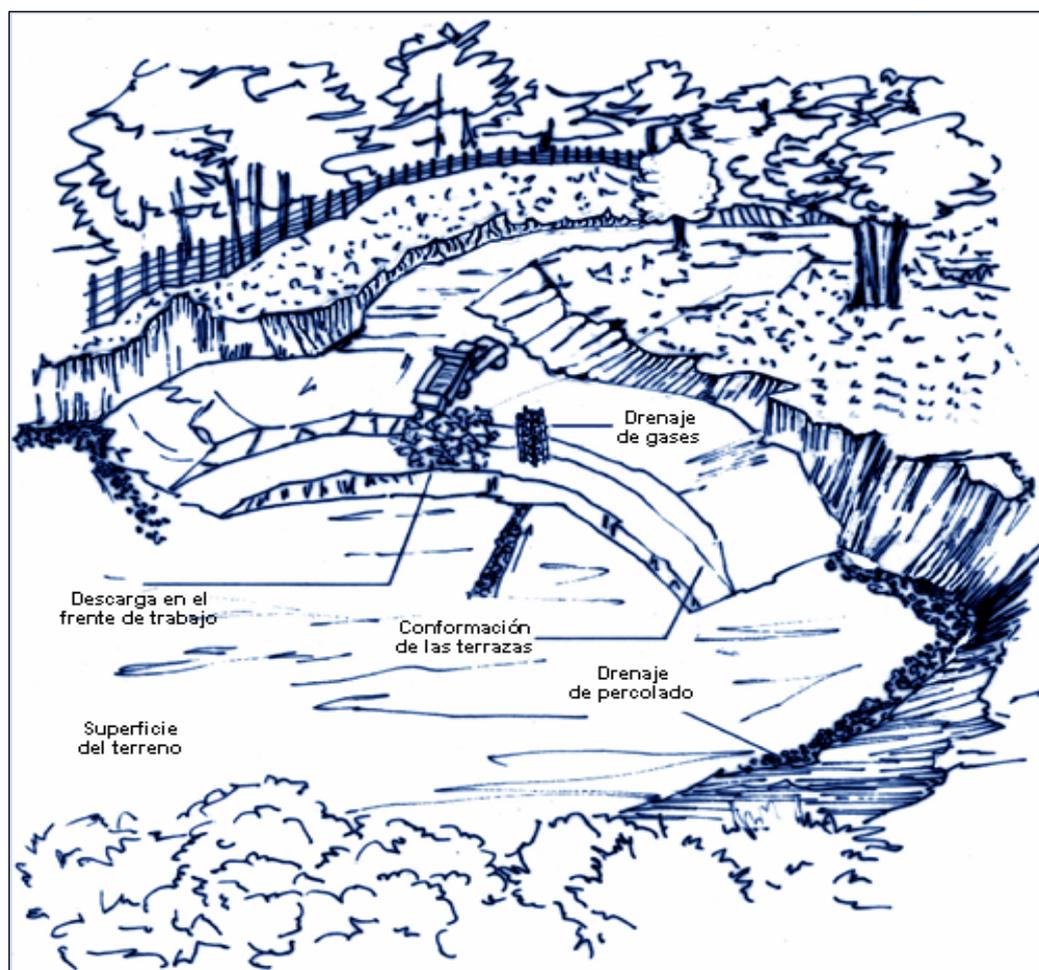


Figura 6. Método de área para rellenar depresione
Fuente: Jaramillo J.,(2002)

2.1.7.3. Combinación de ambos métodos

Dado que estos dos métodos de construcción de rellenos sanitarios tienen técnicas similares de operación, es posible combinar ambos para aprovechar mejor el terreno y el material de cobertura, así como para obtener mejores resultados (figura 7).

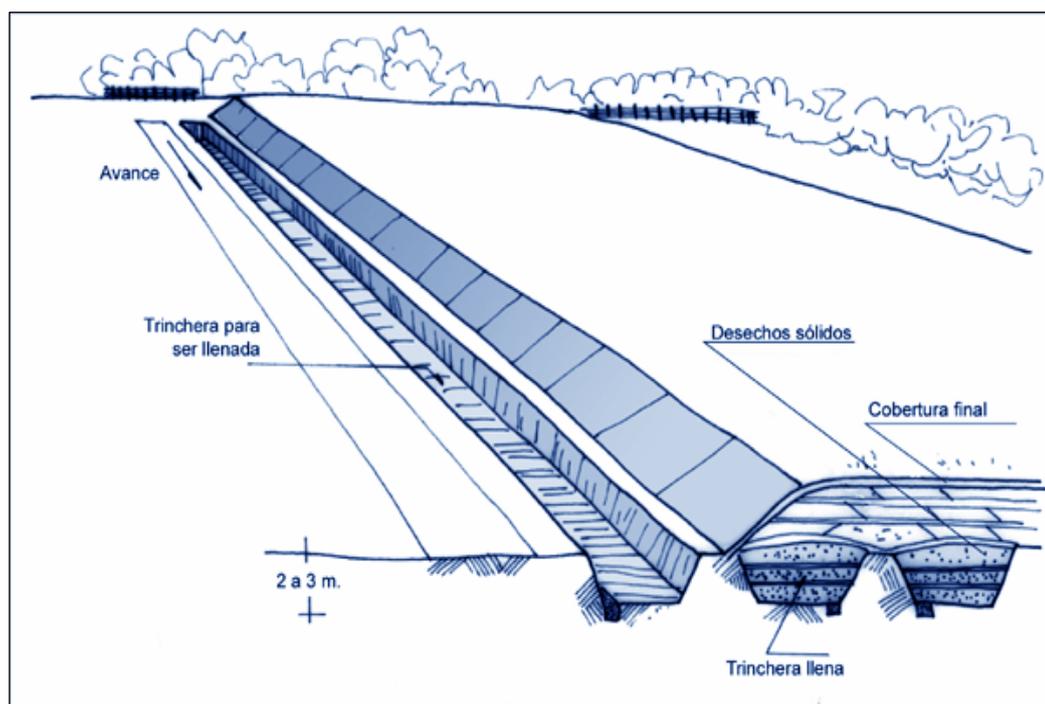


Figura 7. Método combinado para construir un Relleno Sanitario
Fuente: Jaramillo J.,(2002)

2.1.8. Estimación de la Generación de lixiviados

La generación de lixiviado en un relleno sanitario está directamente relacionada con las condiciones climatológicas (precipitación, temperatura, humedad, evapotranspiración, radiación solar, etc), propiedades del suelo, humedad de los residuos y la metodología de trabajo del relleno sanitario, siendo importante la estimación del lixiviado a generarse porque será la base de cálculo para los sistemas de drenaje a construirse, y los sistemas de tratamiento que se pueda aplicar a dichos lixiviados. (Tchobanoglous *et al* 1995).

– **Criterio Practico para estimar la generación de lixiviados en un relleno sanitario Manual y Mecanizado**

La generación de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial y de la humedad propia de los residuos sólidos en proceso de descomposición al interior del relleno sanitario, por consiguiente, calcularemos la generación por la precipitación y la generación por humedad de los residuos sumamos estos valores y esta será la cantidad aproximada de lixiviados que tendremos que manejar en el relleno sanitario.

▪ **Cálculo de la generación de lixiviado**

Casi todos los residuos sólidos sufren cierto grado de descomposición, pero es la fracción orgánica la que presenta los mayores cambios. Los subproductos de la descomposición están integrados por líquidos, gases y sólidos.

La descomposición o putrefacción natural de la basura produce un líquido maloliente de color negro, conocido como lixiviado o percolado, parecido a las aguas residuales domésticas, pero mucho más concentrado.

Las aguas de lluvia que atraviesan las capas de basura aumentan su volumen en una proporción mucho mayor que la que produce la misma humedad de los residuos sólidos, razón principal por lo que deben ser interceptadas y desviadas para evitar el incremento de lixiviado; de lo contrario, podría haber problemas en la operación del relleno y contaminación del agua subterránea.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utiliza el cuadro de producción de aguas lixiviadas, en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica DED – Deutscher Entwicklungsdienst, este considera que la cantidad de las aguas lixiviadas que se producen en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación, el área del relleno
- Modo de operación (relleno manual o compactado con maquinaria, sistema de compactación)
- Tipo de residuos sólidos. (Tchobanoglous *et al* 1995).

Tabla 3. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

Tipo de relleno	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas (m ³ /ha*día)		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno normal	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado con maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado con maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED 2011

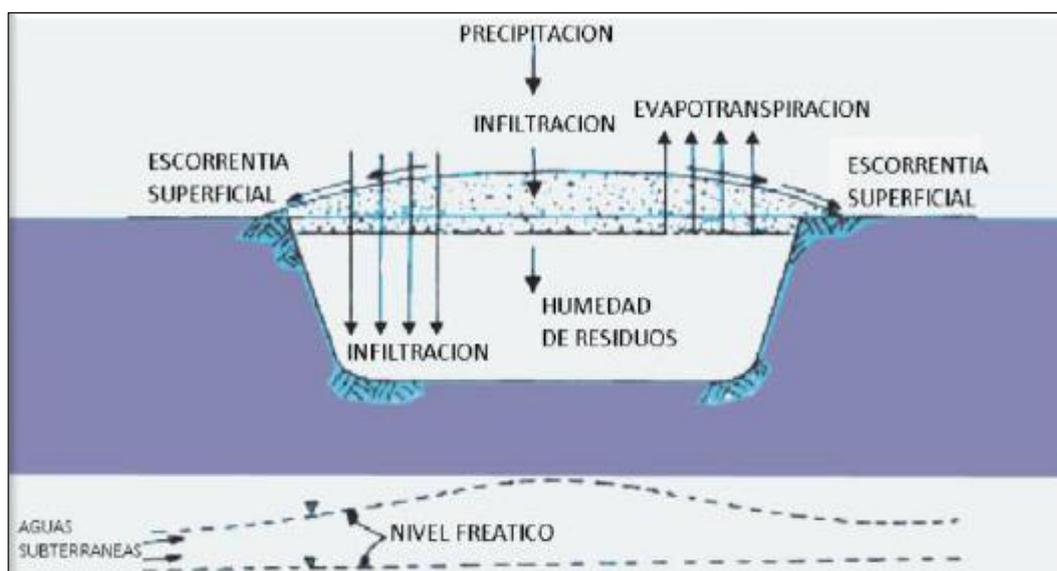


Figura 8. Balance Hídrico en un Relleno Sanitario
Fuente: Tchobanoglous *et al* 1995

Es importante realizar la aclaración de que la mayor generación de lixiviados por concepto de compactación, degradación de los residuos orgánicos al interior del relleno sanitario será en los 2 primeros años de vida del relleno sanitario, pero considerando que

estos lixiviados tienen que percolar por las capas de residuos y el drenaje interno del relleno sanitario serán visibles a partir del tercer año de vida útil.

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

2.1.9. Criterios para el estudio de selección del área

A continuación, se describen algunos de los aspectos técnicos más importantes para el estudio de selección del área:

2.1.9.1. Ubicación del área para futuro relleno sanitario

Un relleno sanitario bien operado no causa molestias, sin embargo es preferible ubicar el sitio alejado de centros poblados, previendo que al final de la vida útil del relleno, éste se puede usar como área verde.

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

Por excepción y de acuerdo a lo que establezca el respectivo EIA, la Dirección General de Salud Ambiental - DIGESA podrá autorizar distancias menores o exigir distancias mayores, sobre la base de los potenciales riesgos para la salud o la seguridad de la población, que pueda generar el relleno sanitario

2.1.9.2. Material para cobertura

El relleno sanitario debe ser lo más autosuficiente en material de cobertura (tierra) para su construcción como sea posible.

Si el sitio no contara con tierra suficiente o no se pudiera excavar, deberán investigarse bancos de material para cobertura en lugares próximos y accesibles tomando en cuenta el costo de transporte.

2.1.9.3. Vida útil

La capacidad del área debe ser suficientemente grande para permitir su utilización durante un periodo igual o mayor de cinco (05) años, a fin de que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación, instalación y las obras de infraestructura.

2.1.9.4. Vías de acceso

Las condiciones de tránsito de las vías de acceso al relleno sanitario afectan el costo global del sistema, retardando los viajes y dañando vehículos; por lo tanto, el sitio debe estar de preferencia a corta distancia del área urbana a servir y bien comunicado por carretera, o bien, con un camino de acceso corto no pavimentado, pero transitable en toda época del año.

2.1.9.5. Topografía

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

2.1.9.6. Compatibilización con el uso de suelo y planes de expansión urbana

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

2.1.9.7. Compatibilización con el plan de gestión integral de residuos en la provincia

Es necesario tomar en cuenta si el proyecto de relleno sanitario fue considerado como una alternativa para la disposición final de residuos sólidos dentro del Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la provincia.

2.1.9.8. Minimización y prevención de los impactos sociales y ambientales negativos

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

2.1.9.9. Condiciones climáticas

La ubicación del área deberá seleccionarse de tal manera que la condición climática sea favorable para la ubicación del proyecto. La dirección del viento predominante es importante, debido a las molestias que puede causar tanto en la operación, por el polvo y papeles que se levantan, como por el posible transporte de malos olores a las áreas vecinas. Asimismo será importante conocer las condiciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa serán favorables a la biodegradación de los residuos.

2.1.9.10. Geología

Un contaminante puede penetrar al suelo y llegar al acuífero, contaminándolo y haciéndolo su vehículo, por lo tanto es muy importante conocer el tipo de suelo (estratigrafía) el sitio para el relleno sanitario.

Los suelos sedimentarios con características areno - arcillosas son los más recomendables ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquido contaminante se reduce sustancialmente.

Por otra parte, este tipo de suelo es suficientemente manejable como para realizar excavaciones, cortes y usarlo como material de cubierta.

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

2.1.9.11. Hidrogeología

Uno de los factores básicos para la selección del sitio es el de evitar que pueda haber alguna contaminación de los acuíferos.

Es importante realizar como mínimo un estudio o evaluación geohidrológico a nivel de reconocimiento para identificar la posibilidad de existencia de acuíferos sub-superficiales, la profundidad a la que se encuentra el agua subterránea, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo de la misma.

El profesional especialista determinará el nivel de detalle en el cual se debe realizar el estudio hidrogeológico, debiendo en todos los casos utilizarse información oficial de referencia o mediciones in situ si el caso lo amerita.

2.20.12. Hidrología superficial

Una parte de los problemas de operación causados por la disposición de desechos sólidos son consecuencia de una deficiente captación de agua de escurrimiento (lixiviados); partiendo de esa base es muy importante que el sitio seleccionado esté lo más lejos posible de corrientes superficiales y cuerpos receptores de agua, y cuente con una adecuada red de drenaje pluvial para evitar escurrimientos dentro del relleno sanitario.

2.20.13. Preservación del patrimonio arqueológico

La preservación del patrimonio arqueológico es un criterio importante, el terreno no debe estar ubicado en un área perteneciente a una zona arqueológica de ser así es un criterio de restricción de ubicación.

2.1.9.12. Preservación de áreas naturales protegidas

Para la evaluación del siguiente criterio es importante que el lugar posible no afecte un área natural protegida por el estado. En caso si existiese este sería un criterio de restricción de ubicación.

2.1.9.13. Vulnerabilidad del área a desastres

Es importante definir si el terreno es vulnerable a desastres naturales, de ser así los rellenos sanitarios no deberán ubicarse en estas áreas.

2.1.10. Aspectos legales

2.1.10.1. Saneamiento físico legal del terreno

Es recomendable que un proyecto de relleno sanitario inicie solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en un su mano el documento legal que lo autorice a construir las obras complementarias, estipulando también el periodo y la utilización futura u opciones.

Es muy usual que el Municipio obtenga, de particulares, el arrendamiento del terreno para el relleno sanitario. En caso de que esto suceda será necesario siempre contar con un convenio o contrato firmado y debidamente legalizado por ambas partes.

Cuando el terreno sea propiedad del Municipio, éste deberá quedar debidamente registrado en el catastro de la propiedad, señalando que será de uso restringido.

Las Instituciones para acudir y conocer el estado físico - legal del terreno son las siguientes:

- Ministerio de Agricultura a través del Proyecto Especial de Titulación de Tierras

- Ministerio de Energía y Minas - MINEM
- Superintendencia Nacional de Registros Públicos – SUNARP.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el ámbito del Distrito de Antauta, Provincia de Melgar, región Puno; ubicado al norte de la región Puno, rodeada de geoformas positivas y negativas con cotas que van desde los 3 840 a 4 200 msnm, dentro de las coordenadas geográficas Longitud Oeste: 14°18'00", Latitud Sur: 70°17'42". Su extensión territorial es de 636,2 km², tiene una población estimada en 4 683 habitantes y una densidad poblacional de 39 hab/km².

La municipalidad distrital de Antauta, para la disposición final de sus residuos cuenta con un botadero sin control, el cual no tienen las condiciones técnicas mínimas para su funcionamiento como vertedero.

De la población económicamente activa (PEA) del distrito de Antauta el 35,44% se dedica a la agricultura, ganadería y similares, y el 27,22% se dedica a la minería y 6,43% al comercio por menor; el 14,79% de la población de Antauta no tiene ningún tipo de educación, el 42,28% tiene educación primaria, el 29,17% tiene educación secundaria y sólo el 4,19% tiene educación universitaria completa; el 40,34% de la población de Antauta reside en la zona rural y el 59,66% reside en la zona urbana; la incidencia de pobreza total es de 77,30% y la incidencia de pobreza extrema es de 40.50% (INEI, 2014).



Figura 10. Distrito de Antauta



Figura 9. Ubicación del Distrito de Antauta

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

En el presente trabajo de investigación se utilizó los residuos sólidos municipales del distrito de Antauta.

3.2.2. Materiales y equipo

3.2.2.1. Material de origen orgánico-inorgánico

- Residuos sólidos municipales (RSM) generados por la población de Antauta.
- Bolsas de Polietileno (0,8 x 1,0 m).
- Mesa de trabajo.
- Fichas de caracterización de Residuo Sólidos Municipales y encuestas a hogares.
- Tableros de campo.
- Guantes profilácticos, Mascarillas y casco de protección.
- Área para realizar la caracterización de RSM en el botadero Municipal.

3.2.2.2. Equipos

- Balanza Marca METTLER TOLEDO AB204 Max. 210 g Min. 10 mg
- Vehículo

3.2.2.3. Personal

Para labores en terreno se contó con el apoyo del siguiente personal:

- 02 Encuestadores para aplicar encuestas, durante tres días.
- 02 Jornaleros (Municipalidad de Antauta) para labores de caracterización de los RSM, durante 7 días consecutivos.

3.2.3. Cálculo del tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra se utilizó la fórmula recomendada por Cantanhede *et al.* (2005), por la guía de metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2012) y la guía metodológica

para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015), que a continuación se muestra:

$$n = \frac{Z_{1-\alpha/2}^2 N \sigma^2}{(N-1)E^2 + Z_{1-\alpha/2}^2 \sigma^2}$$

Donde:

n = muestra de las viviendas

N = total de viviendas

Z = nivel de confianza 95% = 1.96

σ = desviación estándar

E = error permisible

Considerando que el número de viviendas urbanas al año 2018 del distrito de Antauta es de 1 151 viviendas y utilizando un nivel de confianza de 95% (1,96), una desviación estándar de 0,25 kg/hab./día y un error permisible de 0,061 kg/hab./día, recomendados por la guía metodológica para el desarrollo del estudio de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015), de acuerdo a los cálculos se determinó una muestra de 61 viviendas según los cálculos que se detallan a continuación.

$$n = \frac{1,96^2 \times 1151 \times 0,25^2}{(1151 - 1) \times 0,061^2 + 1,96^2 \times 0,25^2} = 61,15$$

n=61 viviendas

En la tabla 6 se muestra las proyecciones de la población y número de viviendas urbanas al año 2019, que se estimó dividiendo la población del 2019 entre el valor promedio asumido de 4 habitantes por vivienda, lo cual nos da 1155 viviendas urbanas para el año 2019.

3.2.4. Selección de lugares de muestreo

Los residuos sólidos son generados en forma diferenciada en todo el distrito de Antauta; para determinar los volúmenes y composición de los residuos, se ha dividido en residenciales, y no residenciales. La determinación del tamaño de muestra se ha realizado en base al reglamento del CONAM en el documento denominado “GUIA PIGARS” de octubre del 2 001, a continuación, se describe los lugares de muestreo.

3.2.4.1. Residenciales

De acuerdo a las características socioeconómicas de la población, se ha realizado la estratificación en medio, bajo y muy bajo, esta estratificación se ha realizado en base a información del INEI. Las viviendas en las que se realizó el muestreo fueron tomadas aleatoriamente, en total fueron 61 viviendas.

3.2.4.2. No residenciales

Los muestreos en lugares no residenciales, fueron seleccionadas por la actividad comercial que realizan, categorizando en cada caso el nivel de cada establecimiento, por los volúmenes de generación de residuos, estos fueron: locales comerciales, restaurantes, instituciones, centros educativos, mercado, posta médica y finalmente el barrido de calles, en total fueron 11 establecimientos.

3.2.5. Toma de Muestras

Una vez identificados y definidos los lugares, se procedió al muestreo durante siete días, utilizando bolsas de plástico de 0,35 x 0,6 m. para cada día, transportadas de forma diaria al local determinado por el municipio para su clasificación. y pesado por segregadores.

3.2.6. Segregación.

La segregación fue realizada en forma manual, separando los elementos constitutivos de los residuos sólidos generados, las muestras de volúmenes altos, fueron separadas previamente por el método de cuarteo y posteriormente seleccionadas, la selección se realizó teniendo en cuenta los parámetros indicados.

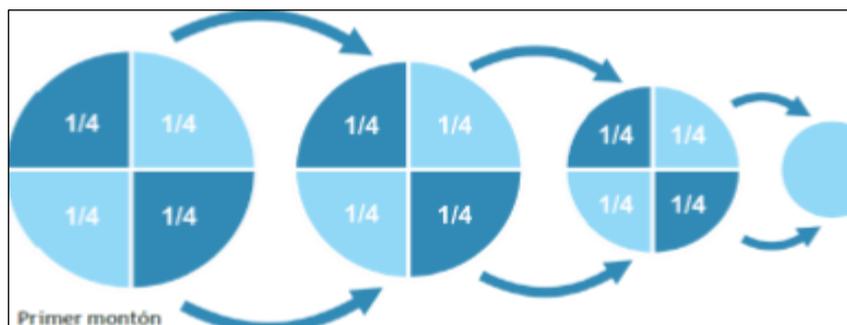


Figura 11. Método del cuarteo para obtener la muestra de los residuos sólidos



Figura 12. Muestra del proceso de segregación de los residuos sólidos

3.2.7. Pesado de Componentes:

Para este proceso se utilizó dos básculas, una de 20 kg con una precisión de 25 gramos y una de 2 kg con precisión de 1 gramo, esta última fue utilizada para las muestras pequeñas.

Una vez obtenido los elementos segregados se procedió al pesado de los componentes individuales de cada una de las muestras, teniendo en cuenta el tipo de residuo.

3.2.8. Unidades de Medida

Las unidades de medida son diferenciadas de acuerdo al tipo de establecimiento en los cuales se realizaron los muestreos, se tienen las siguientes:

- **Residencial**

Kg/hab/día

- **No Residenciales**

Kg/establecimiento/día

3.2.9. Análisis de Datos

Se ha utilizado los parámetros establecidos por el CONAM, en su guía PIGARS y lo señalado por G. Tchobanoglous – H. Theisen (1995), para conocer la composición, características físicas y químicas de los residuos sólidos generados en el distrito de Antauta; una vez segregada y pesada las muestra.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE SE GENERAN EN EL DISTRITO DE ANTAUTA

La caracterización de residuos comprende la estimación de la generación de los residuos sólidos producidos por sus habitantes, el modo de separación más apropiado para determinar la composición física promedio, la densidad y humedad.

Esta caracterización nos permitió calcular la generación total de los residuos, así como proyectar los datos para los próximos años y de esta manera planificar las acciones para la disposición final a través de un vertedero.

Se empleó como materia prima inicial los residuos sólidos municipales del distrito de Antauta provenientes de la población y se realizaron los siguientes pasos cuyos

cálculos se observa en la tabla 9.

3.3.1. Proyección de la población

Resulta importante determinar la población futura que tendrá el distrito de Antauta para los próximos 10 años, a fin de calcular la cantidad de residuos sólidos municipales que se generan diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del vertedero.

Para la proyección de la población se adoptó un crecimiento geométrico, para el cálculo se utilizó una tasa de crecimiento del 0,12% anual (índice de crecimiento para el distrito de según Antauta según el INEI), la siguiente ecuación nos permitir estimar las necesidades para los próximos 10 años.

$$P_f = P_o(1 + r) * n \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

P_f = Población futura

P_o = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

- Primer año $P_1 = 4683$
- Segundo año $P_2 = 4683 (1 + 0,012)^1 = 4739$
- Tercer año $P_3 = 4683 (1 + 0,012)^2 = 4796$

En la tabla 6 se puede apreciar el total de la proyección de la población y número de viviendas.

3.3.2. Estudio de generación de residuos sólidos municipales

- El estudio de generación de residuos sólidos municipales se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por el CONAM, en su guía PIGARS con algunas consideraciones hechas para adecuarse a las condiciones reales presentadas.

En la Tabla 7 se muestra los 61 valores de residuos sólidos generados, que corresponden a la generación per cápita de cada vivienda participante. Cada valor se obtuvo de la suma de las fracciones orgánica e inorgánica de las familias participantes (durante los 7 días que dura la prueba) dividido entre el número de miembros de la vivienda y entre 7 días de la semana.

$$\text{GRSM} = \frac{\text{Día 1} + \text{Día 2} + \text{Día 3} + \text{Día 4} + \text{Día 5} + \text{Día 6} + \text{Día 7}}{\text{Número de habitantes} \times 7 \text{ Días}} \quad \text{Ec. 2}$$

La generación per cápita de RSM de los habitantes de es de 0.384 kg/hab-día y para el año 2019 la población del municipio se Antauta estima en 4683 hab.

3.3.3. Generación y composición de los residuos sólidos del distrito de Antauta

Con el objeto de lograr este objetivo, se han considerado los siguientes parámetros:

- 1) Generación de residuos sólidos del distrito de Antauta.
- 2) La generación per cápita y generación total de residuos sólidos.
- 3) La composición de los residuos sólidos municipales.

De la generación y composición de los desechos que serán manejados en Antauta, el cálculo de producción en el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de RSM, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes.

Es conveniente estimar las cantidades de residuos que la población genera a través de la producción per cápita.

La cantidad de residuos sólidos generados y que se recolectaron del distrito de Antauta, son de suma importancia para determinar el cumplimiento del programa general de gestión de residuos sólidos (almacenamiento, recolección, transferencia, posibilidades de reutilización y disposición final). Ver tabla 9.

La producción per cápita (ppc) de residuos sólidos es un parámetro que asocia el tamaño de la población y las actividades comerciales, institucionales, educativas y de limpieza pública, siendo una variable importante para dimensionar los procesos

La tabla 9 muestra composición de residuos sólidos del distrito de Antauta, los mismos que serán calculados en el transcurso del trabajo de investigación.

3.3.4. Producción per cápita de los residuos sólidos proyectado (ppc)

La cantidad diaria de residuos sólidos que genera la población de 4683 habitantes del distrito de Antauta cuya generación se estimó de la siguiente manera:

$$ppc = \frac{\text{Cantidad de residuos}}{\text{población}} \quad \text{Ec.3}$$

$$ppc = \frac{1770 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{4683 \text{ habitantes}} = 0,378 \text{ kg/hab. día}$$

$$ppc_1 = 0,378 \text{ kg/día}$$

La proyección de los residuos per cápita para los siguientes 10 años. Se estima que la producción per cápita aumentara en 1 % anual. Entonces, para el segundo, tercer año es:

- $ppc_2 = ppc_1 + (1\%) = 0,378 \times (1,01) = 0,382 \text{ kg /hab/día}$
- $ppc_3 = ppc_2 + (1\%) = 0,382 \times (1,01) = 0,385 \text{ kg /hab/día}$

De igual manera se calcula para los demás años (columna 2 de la tabla 10)

La producción anual se calcula multiplicando la producción diaria de residuos sólidos (ppc) por los 365 días del año.

- $R. S. \text{ anual} = \frac{0,378 \frac{\text{kg}}{\text{hab-día}}}{\text{pob-día}} * 4683 \text{ pob} * = 1770 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$

Los datos proyectados se observan en la tabla 10, columnas 3, 4 y 5

3.4. PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS Y CANTIDAD DE GAS Y LIXIVIADOS QUE SE PRODUCEN EN EL VERTEDERO.

3.4.1. Propiedades físicas de los RSM

Las propiedades físicas más importantes son:

- a) El contenido de humedad
- b) Densidad
- c) El volumen

3.4.1.1. Humedad

El contenido de humedad de los residuos sólidos normalmente se expresa de dos formas.

Para el cálculo del contenido de humedad de los residuos sólidos, se utiliza el método peso-húmedo. La humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso seco del material. Este método se usa más frecuentemente en el campo de la gestión de residuos sólidos.

Para el cálculo del contenido de humedad de los residuos sólidos, se ha utilizado el método peso-húmedo y la ecuación 4:

$$M = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

M = Contenido de humedad en porcentaje

w = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse

Los contenidos de humedad de los residuos sólidos emplazados en el vertedero dan origen a la generación de lixiviados, los que se ven incrementados en época de

avenidas; dichos lixiviados al no ser tratados producen contaminación en los cuerpos de agua subterráneos y superficiales y en los suelos.

Aplicando la ecuación 4, se tendrá que el contenido de humedad del residuo sólido, en la tabla 13 del anexo 6 se muestra la estimación del peso seco a obtener y poder aplicar la ecuación 4.

3.4.1.2. Densidad

La densidad es una relación del peso de los residuos sólidos con respecto a su volumen (kg/m^3), es importante identificar la densidad de los residuos sueltos y los residuos compactados. Para ello se realizó el siguiente procedimiento:

- Se acondicionó un recipiente cilíndrico de 200 litros de capacidad
- Se tomó al azar una bolsa cualquiera ya registrada y pesada y se procedió a vaciar su contenido en el cilindro, así sucesivamente hasta que el cilindro se llene.
- Medimos altura libre, altura total del cilindro y diámetro. Se registra esta información para el cálculo de densidad de los residuos sueltos
- Levantamos un poco el cilindro y lo dejamos caer y procedemos a compactarlo lo más posible con un pisón o elemento similar.
- Medimos altura libre, altura total del cilindro y diámetro. Se registra esta información para el cálculo de los residuos compactados
- Se repite el mismo procedimiento hasta terminar con todas las muestras
- El cálculo de la densidad se realiza empleando la siguiente fórmula

Se determina la densidad de los residuos sólidos urbanos del distrito de Antauta de acuerdo a lo siguiente:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Ec.5}$$

Dónde:

Masa de los RSM=1770 kg

Volumen = 6,908 m³

Densidad =?

$$\rho = \frac{1770 \text{ kg}}{6,908 \text{ m}^3} = 256,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.4.1.3. Volumen de los residuos sólidos

Con los datos obtenidos en el tabla 11, anexo 6 se dedujo el volumen total de los residuos sólidos de Antauta.

El volumen total de los residuos sólidos que generan del distrito de Antauta, permite el diseño adecuado de rutas y frecuencia y número de unidades de recolección, número y capacidad de contenedores y el diseño de infraestructura necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil del relleno sanitario a construir, además sirve para el cálculo del área requerida.

La columna 6 de la tabla 11 se ha calculado teniendo en cuenta la densidad y la masa diaria de acuerdo a lo siguiente:

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{1770 \text{ Kg/día}}{256,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,90 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \sim 7 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Los datos proyectados se observan en la tabla 11 de anexo 6, columnas 6 y 8.

3.4.2. Material de cobertura (m.c.)

Es la tierra necesaria para cubrir los residuos recién compactados y se calcula como 20% del volumen de basura recién compactado (ecuación 6, columna 7), de la tabla 11, así:

$$m. c = V_{\text{diario compactado}} \times (0,20 \text{ ó } 0,25) \quad \text{Ec.6}$$

- Primer año $m. c = 7 \times 0,20 = 1,40$
- Segundo año $m. c = 7,05 \times 0,20 = 1,41$

Se efectúa la proyección para los siguientes años. Tabla 11 anexo 6.

3.4.3. Cálculo del área requerida

Con el volumen se estimó el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno que será de 3 m.

El relleno sanitario manual se proyectó para diez años. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- Cantidad de RSM que se deberá disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los RSM.
- Profundidad o altura del relleno sanitario.
- Áreas adicionales para obras complementaria.

A partir de la tabla 11 anexo 6, podremos estimar las necesidades de área así:

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

V_{RS} = Volumen de los residuos sólidos

h = Altura o profundidad del relleno sanitario

Se ha utilizado 3 m de altura del relleno sanitario en el distrito de Antauta, para encontrar el área total del relleno sanitario se utiliza el 30 % del valor del relleno sanitario.

$$A_T = F + A_{RS} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

F= Factor de aumento para las áreas adicionales, se considera un 30 % del área total.

$$1022 \times (0,30) = 306,6$$

se reemplaza este valor en la ecuación y se tiene:

- Primer año : $A_T = 306,6 + 1022 = 1328,6 \text{ m}^2$

Ver resultados tabla 12 anexo 6.

3.4.4. Propiedades químicas

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los residuos sólidos es importante para evaluar una futura opción de procesamiento y recuperación.

1. Composición Química

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos del distrito de Antauta, se obtuvo la composición química que permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación, utilizando las fórmulas empíricas que a continuación se detallan, las fórmulas químicas empíricas para efectuar estos cálculos se encuentran en la pág. 24. (Tchobanoglous *et al* 1995).

Fórmulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados

Fórmula química con azufre

Sin agua $C_{586}H_{934}O_{248}N_{12}S$ (para cálculo en base seca)

C_{586}	H_{934}	O_{248}	N_{12}	S	P.A.		
					32 x 1 =	32	
					14 x 12 =	168	
					16 x 248 =	3968	
					1 x 934 =	934	
					12 x 586 =	7032	

						12134	kg

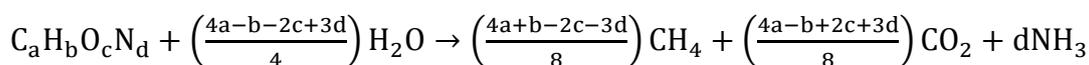
Se efectúan los cálculos con los datos de la tabla 13 peso seco kg/día, para determinar cada componente de los residuos sólidos que se muestran en la tabla 14 anexo 6.

3.4.5. Cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos

Un relleno sanitario de residuos sólidos es como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de vertedero y lixiviado como principales salidas.

El volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaerobia se estimó con la fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$.

Se calculó el volumen total del gas utilizando la siguiente ecuación, suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO_2 y CH_4 ,



Los cálculos se observan en el (ítem 9, anexo 6), siendo la cantidad de gas que se produciría de la siguiente manera:

a) Rápidamente descomponible de la materia orgánica

- Metano = $\frac{(912 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 811,54 \text{ m}^3$
- Dióxido de carbono = $\frac{(1804 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 424,48 \text{ m}^3$

b) Lentamente descomponible de la materia orgánica

- Metano = $\frac{(3664 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 241,53 \text{ m}^3$
- Dióxido de carbono = $\frac{(7172 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 144,67 \text{ m}^3$

3.4.6. Composición, formación del control del lixiviado en el vertedero

El lixiviado es el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión.

En la mayoría de los rellenos sanitarios el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas, fundamentalmente el agua aportada por la humedad de los residuos, por la lluvia y por infiltraciones hacia la celda de disposición.

El volumen de lixiviado está fundamentalmente en función de la precipitación pluvial. No solo la esorrentía puede generarlo, también las lluvias que caen en el área del relleno hacen que su cantidad aumente, ya sea por la precipitación directa sobre los residuos depositados o por el aumento de infiltración a través de las grietas en el terreno.

En climas lluviosos se produce la infiltración del agua en las celdas de rellenos sanitarios, pudiendo llegar a saturar los residuos confinados y generar lixiviados con altas concentraciones de materiales contaminantes.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utilizó la siguiente tabla de producción de aguas lixiviadas en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED.

– Para el cálculo de la cantidad de lixiviado se tomó en cuenta el porcentaje de precipitación pluvial y en función de un factor de generación en $m^3/año$.

- Precipitación anual en Antauta: 628,8 mm
- Area anual del relleno (ha): 0,1328 = (1 328,60 m^2)
- Tipo de relleno del distrito de Antauta: Relleno manual

$$628,8 \text{ mm} \times 0,60 = 377,28 \text{ mm}$$

$$377,28 \text{ mm} \times 1328,60 = 501 \text{ m}^3/\text{mm}$$

$$\text{Cantidad de lixiviado} = 501 \text{ m}^3/\text{año}$$

3.5. DISEÑO DEL VERTEDERO MANUAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE ANTAUTA (PLANTA MANUAL DE RSM)

La planta manual de acopio de RSM puede ser una instalación muy sencilla que se recomienda ubicarla dentro del sitio del relleno, junto o cerca del cuerpo de residuos.

La planta manual de acopio y reciclaje recomendada consiste de cuatro unidades principales:

Unidad 1: Área de descarga de residuos sólidos y de residuos hospitalarios

Unidad 2: Garaje para vehículos

Unidad 3: Área del relleno sanitario

Unidad 4: Almacenamiento de lixiviado

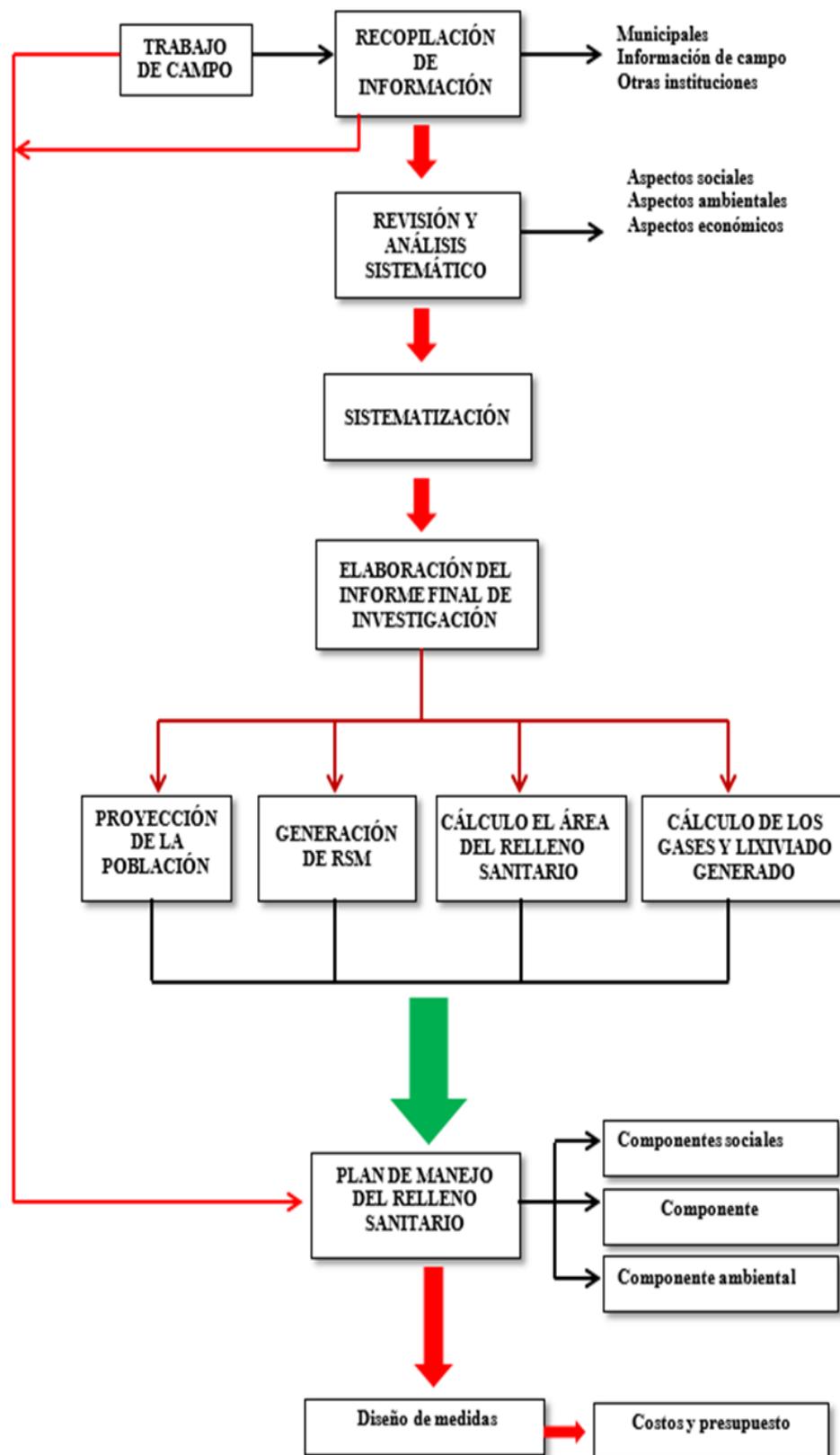


Figura 13. Secuencia metodológica del estudio

3.6. DISPOSICIÓN FINAL

Se presenta la estructura y el contenido del Plan de Residuos Sólidos Urbanos, que consiste en una propuesta alternativa para que exista un manejo adecuado de estos residuos, por parte de los ciudadanos y de las autoridades municipales, y de igual forma se cuente con un lugar adecuado para la disposición final de éstos.

El vertedero se ubicará en la comunidad de Inkaumiña-Sector Chaconi a 15 km del Distrito de Antauta.



Figura 14. Terreno para la ubicación del vertedero

Para la ejecución del “Gestión integral para el manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos del distrito de Antauta”, se propone líneas estratégicas que están directamente involucradas con la prestación del servicio y su tratamiento de limpieza, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos.

1. Equipamiento del servicio de recolección de basura para la prestación de un servicio de mayor calidad y cobertura.

Equipar adecuadamente el servicio de limpieza y recolección de basura para que haga un manejo adecuado de la misma, y se amplíe la cobertura del servicio. Esto en razón de que

toda la basura es depositada en un sólo contenedor, sin hacer una separación que permita el aprovechamiento de la misma.

2. Construcción de un vertedero para la disposición final de los residuos sólidos.

Debe existir una adecuada disposición final de los residuos sólidos, para lo cual se debe establecer un lugar apropiado para tal fin. Esto con la finalidad de reducir al mínimo los impactos negativos al medio ambiente, como resultado de una inadecuada disposición final de los residuos sólidos, concretamente por el hecho de tener un lugar en el que la basura es incinerada, y cuya descomposición provoca la contaminación del aire y del suelo.

- La capacidad que debe tener el vertedero del distrito de Antauta debe tener un área de 2.5 ha para el relleno sanitario más 3,5 ha para los demás servicios de acuerdo al plano (fig. 16)

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Caracterizar los residuos sólidos que se generan en el distrito de Antauta

Para aprovechar los residuos domiciliarios que se producen en la zona, primero se ejecutó un muestreo entre 61 viviendas (tabla 7) y se procedió a caracterizar los residuos sólidos municipales, para lo cual se solicitó apoyo a la municipalidad de Antauta quien apoyo con dos obreros para los manejos de los residuos.

En el distrito de Antauta genera dos tipos de residuos orgánicos e inorgánicos, cuya composición se muestra en la tabla 9, figura 15, originando un volumen diario de 0,384 kg/hab-día y de 1,77 t/día tal como se observa en la tabla 9 del anexo 6.

El área que ocupan estos residuos sólidos son de 1 328,60 m² para el primer año y para los próximos 10 años es de 14 489,644 m², se observan estos datos en la tabla 12.

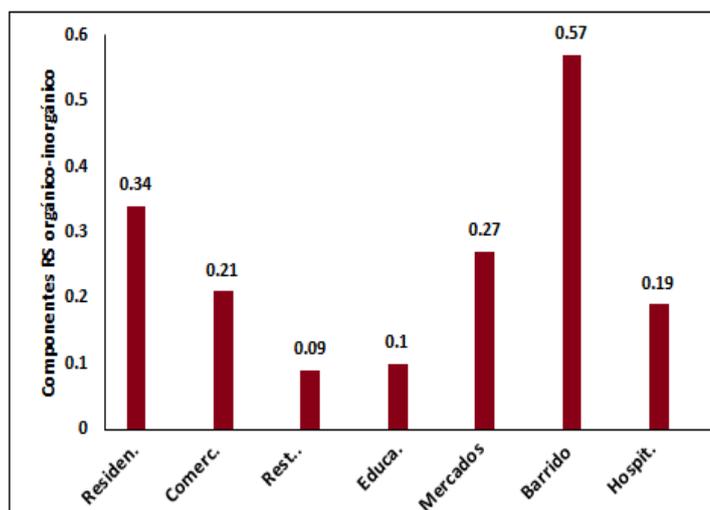
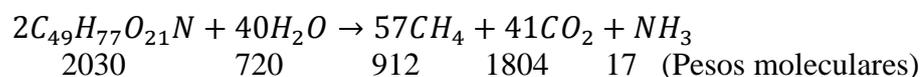


Figura 15. Composición de Residuos Sólidos del distrito de Antauta

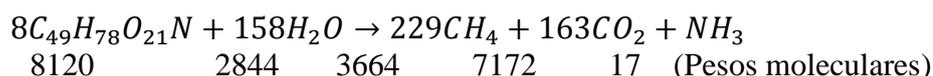
4.1.2. Propiedades y composición físico química de los residuos sólidos generados en el distrito de Antauta y cantidad de gas y lixiviados que se producen en el vertedero

Se determinó peso húmedo de 1,77 t/día, peso seco de 1,448 t/día, densidad de 256,22 kg/m³ y un volumen de 3 066 m³ siendo la selección cuantificada de subproductos de la siguiente manera: residuos de comida 0,24 t/día (13,55 %), papel 0,23 t/día (12,99 %), cartón 0,18 t/día (10,16 %), plásticos 0,090 t/día (5,08 %), textiles 0,1 t/día (5,64 %), madera 0,06 t/día (3,38 %), vidrio 0,42 t/día (23,72 %), latas de hojalata 0,11 t/día (6,21 %), aluminio 0,010 t/día (0,56 %), otros metales 0,07 t/día (3,95 %), suciedad, cenizas, etc. 0,26 t/día (14,68 %) las propiedades químicas. (tabla 9 del anexo 6).

La cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos se estimó con la fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$ y para el cálculo rápidamente descomponible se utilizó la siguiente ecuación. (Item 9, anexo 6)



Para el cálculo lentamente descomponible se utilizó la siguiente ecuación.



Se determinó el volumen de metano y dióxido de carbono producido utilizando los pesos específicos del CH₄ = 0,717 kg/m³ y del CO₂ = 1,978 kg/m³ tanto para la descomposición rápidamente descomponible y Lentamente descomponible, obteniéndose lo siguiente:

– **Rápidamente descomponible**

$$\text{Metano} = 811,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 424,48 \text{ m}^3$$

– **Lentamente descomponible**

Metano = $241,53\text{m}^3$

Dióxido de carbono = $144,67\text{ m}^3$

El lixiviado es el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión, por lo que requiere especial tratamiento.

Para el cálculo de la cantidad de lixiviado se tomó en cuenta el porcentaje de precipitación pluvial y en función de un factor de generación en $\text{m}^3/\text{año}$.

- Precipitación anual en Antauta : 638.4 mm
- Area anual del relleno (ha) : 0,1328 = $(1328,60\text{ m}^2)$
- Tipo de relleno del distrito de Antauta: Relleno manual

Se calculó que se producirá $501\text{ m}^3/\text{año}$ de lixiviado.

4.1.3. Diseño del vertedero manual para la disposición final de los residuos sólidos del distrito de Antauta

4.1.3.1. Área de descarga

Esta área debe tener el piso de hormigón, si eso no es posible por razones financieras, deberá ser con tierra bien compactada. El objetivo es que cuando se tengan altas precipitación es, el área no se convierta en un sitio pantanoso en el cual no sea posible trabajar.

A continuación, en la Figura 16 se muestra el diseño recomendado para una planta manual que es la que se recomienda para el caso del municipio del distrito de Antauta.

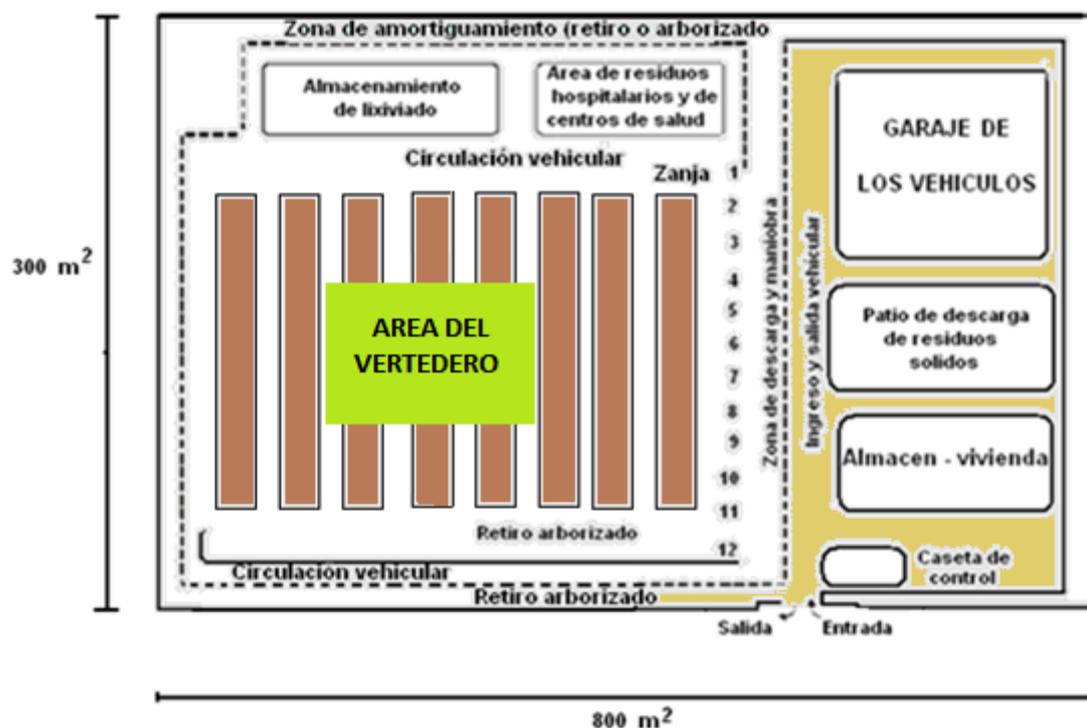


Figura 16. Planta de tratamiento de RS de un sistema integrado de tratamiento y disposición final de RSM

4.1.3.2. Área de la planta

La planificación inicial contemplará y desarrollará las bases para las diferentes actividades a cumplir, tales como el diseño de la planta de acopio o integrarla en una instalación existente como es en el vertedero, se deben conocer las dimensiones de ésta.

Los factores que más influyen aquí son:

- Área del relleno sanitario
- Tipo de equipamiento
- Tipo de infraestructura
- Cantidad de desechos tratados diariamente

Las áreas más importantes son:

- El área de lixiviados
- El área de almacenamiento

Se pueden considerar diferentes diseños para una planta de acopio, dependiendo de la topografía del terreno y de las condiciones del sitio en cuestión. En total se ha calculado un área de 24 hectáreas para todas las áreas indicadas.

El primer paso en la planeación de un vertedero es determinar el sitio (terreno) para instalar la infraestructura de relleno sanitario. Para ello es necesario, ubicar un espacio físico con depresión geográfica (barranca o ladera de cerro). La elección debe hacerse en consulta con las autoridades locales (Regidores de ecología, planeación, obras públicas, y salud, así como el Comisariado de Bienes Comunales), siendo el sitio elegido y adecuado para el vertedero la comunidad de Inkaumiña-Sector Chaconi A 15 km del distrito de Antauta.



Figura 17.Lugar de ubicación del vertedero.

CONCLUSIONES

- En la caracterización de los residuos sólidos urbanos del distrito de Antauta cuenta con 1 151 viviendas de las cuales fueron focalizadas 61 viviendas y la producción per cápita es de 0,384 kg/hab/día y se determinó peso húmedo de 1,77 t/día, peso seco de 1,494 t/día, densidad de 256,22 kg/m³ y un volumen de 3027,63 m³.
- La cuantificación de los subproductos es la siguiente: residuos de comida 0,24 t/día (13,55 %), papel 0,23 t/día (12,99 %), cartón 0,18 t/día (10,16 %), plásticos 0,090 t/día (5,08 %), textiles 0,1 t/día (5,64 %), madera 0,06 t/día (3,38 %), vidrio 0,42 t/día (23,72 %), latas de hojalata 0,11 t/día (6,21 %), aluminio 0,010 t/día (0,56 %), otros metales 0,07 t/día (3,95 %), suciedad, cenizas, etc. 0,26 t/día (14,68 %). La cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos se estimó con la fórmula generalizada $C_a H_b O_c N_d$

- Rápidamente descomponible

$$\text{Metano} = 811,54 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 424,48 \text{ m}^3$$

- Lentamente descomponible

$$\text{Metano} = 241,53 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 144,67 \text{ m}^3$$

La cantidad de lixiviados que generarían los residuos sólidos urbanos del distrito de Antauta sería de 501 m³/año.

- El vertedero tendrá un área de 1 328,60 m² para el primer año de funcionamiento y la proyección para 10 años es de 14 489,644 m² y estará ubicada en la Provincia de Melgar, Distrito de Antauta, Comunidad de Inkaumiña, a 15 km del distrito de Antauta.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una investigación de los lixiviados producidos en el vertedero; que necesariamente deben ser tratados para evitar una mayor contaminación.
- Elaborar e implementar un programa de educación ambiental para la minimización de la producción de residuos sólidos domésticos en las viviendas.
- La Facultad de Ingeniería Química y la Universidad como institución científica y técnica debe seguir promoviendo el desarrollo de trabajos de tesis e investigación sobre tratamiento de residuos sólidos urbanos en las diferentes provincias del departamento.
- Hacer una campaña de difusión de todos los males que ocasionan los contaminantes arrojados al botadero.
- Los estudios de generación y caracterización de RSM en Antauta. serán elementales para la realización de una propuesta de Plan de Manejo, con ello se podrá corroborar la buena disposición de la ciudadanía en participar en programas en pro del medio ambiente, las personas participantes en las pruebas demostraran la capacidad de separar correctamente los residuos y manifiestan ser una sociedad informada y educada, sin embargo, esto requiere de reforzamiento y actualizaciones periódicas en los datos dada la dinámica de la población y de los diferentes hábitos que modifican los niveles de generación y la composición de los RSM, por lo que se recomienda evaluación y seguimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A., M. F. (2001). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. México.
- Ayala, C. G. (2010). Guía de manejo de relleno sanitario manual. Lim-Peru: Servicios Gráficos.
- Brown S., U. G. (2003). Guia para la gestion del manejo de residuos solidos municipales. El salvador: PROARCA/SIGMA.
- C., D. J. (2011). Biolixiviación o Lixiviación Bacteriana”, Tesis para el grado de Magister. UNSD-Chile.
- Calva A. C., R. C. (2014). Diagnostico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable. México: Informacion Tecnologica .
- Cantanhede A., S. L. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterizacion de residuos solidos. HDT-N° 97 CEPIS-OPS/OMS, 8p.
- Castrillon Q.O., P. E. (2004). Impacto del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista”. Ingeniería Agrícola (Línea de Investigación: Bioprocesos, Semillero de Investigación sobre Materia Orgánica). Caldas-Antioquia.
- CONESA, V. (1997). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Mundi-Prensa.
- Decreto Legislativo N° 014-2017-MINAN. (20 de Diciembre de 2017). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- Decreto Legistalitivo N° 1278. (20 de Diciembre de 2016). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

- DIGESA. (1998). Análisis sectorial de los Residuos Sólidos. Lima-Peru.
- E., H. U. (2012). La Disposición Final de los Desechos Sólidos y su Incidencia en el Buen Vivir de los Habitantes del Cantón Archidona Ubicado en la Provincia de Napo Durante el Año 2012. Ecuador.
- Eguizábal, B. R. (2009). Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Lima – Perú: Ministerio del ambiente.
- Eugenio, G. (1997). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios por osmosis inversa. Colombia: Universidad de los Andes.
- F.H, A. ("Propuesta de Gestión sobre Residuos Sólidos Domiciliarios Región de O'Higgins", Caso estudio: Comuna de Machali". Universidad Académica de Humanismo Cristiano, Escuela de Gobierno y Gestión Sede Rancagua, Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental). 2013. Chile.
- Fernández, S. I. (2010). Diseño y factibilidad de Relleno Sanitario manual para el Municipio de la Libertad. Universidad del Salvador. Escuela de Ingeniería Civil. San salvador.
- INEI. (2014). Censo Nacional de Población y Vivienda. Lima-Peru.
- Jaramillo, J. (1991). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Washington, D.C.
- MINAN. (2015). Guía Metodológica para la elaboración del estudio de caracterización para residuos sólidos municipales. Lima-Peru.
- Palma, G. J. (2004). Análisis de estabilidad de rellenos sanitarios. Universidad católica de Valparaíso. Chile.
- Pellón Alexis Arrechea, M. L. (2009). Tecnología para el tratamiento de lixiviados provenientes de vertederos de residuos sólidos urbanos. Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA). Departamento de Estudios sobre

Contaminacion Ambiental (DECA), Centro de investigacion del Ozono (CIO),
Centro Nacional de Investigaciones Cientificas.

Pettigiani E., M. A. (2012). Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios en Unquillo Córdoba. Cordoba-Argentina, Córdoba, Argentina: Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales-U.

Roben, E. (2002). Diseño, construcción, operación y cierre de Rellenos Sanitarios Municipales. Ecuador: Loja.

Sánchez de P. M., J. d.-S.-F. (2013). Gestión Integral de Residuos Urbanos en el Municipio de Selva-Santiago del Estero. Instituto de Ciencias Químicas, Área de comunicación-Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Estereo-Argentina.

Tchobanoglous George. (1995). Gestión integral de residuos sólidos. España: McGraw-Hill. 1107 p. ISBN: 0-07-063237-5.

Umaña, G. J. (2002). Método de evaluación y selección de sitios para relleno sanitario. XXVIII Congreso Interamericano .

Zapata, M. A. (2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. Gestión y Ambiente, 105 -120.

ANEXOS

ANEXO 1**MARCO LEGAL**

- D.L.N°1278. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos
- Reglamento de Ley General de Residuos Sólidos (D.S. N° 014-2017 MINAN).
- Ley General del Ambiente (Ley N° 28611 - 2005).
- Ley general de residuos sólidos – ley N° 27314 (21/07/00)
- Modificatoria de la Ley de Residuos Sólidos (D.L. N° 1065- 2008-OEFA).
- Ley General de residuos sólidos. No 27314; emitida el 21 de julio del 2000.
- Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, aprobado mediante Decreto Legislativo No. 613.
- Reglamento para el Control Sanitario de las Playas y Establecimientos Conexos, Decreto Supremo No 98-60-DGS, del 7 de octubre de 1960.
- Reglamento para la disposición de basuras mediante el empleo del método del relleno sanitario, Decreto Supremo No 6-STN, del 9 de noviembre de 1964.
- Reglamento de inocuidad del agua y alimentos y del tratamiento de desechos en el transporte nacional e internacional. Decreto Supremo No 012-77-SA, del 13 de octubre de 1977.
- Reglamento de Aseo Urbano, Decreto-Supremo No 033-81-S A, del 9 de diciembre de 1981, modificado por el Decreto Supremo No 037-83-SA, del 28 de septiembre de 1983.
- Normas a las cuales se ceñirá la crianza y/o engorde de cerdos desde el punto de vista sanitario, Decreto Supremo No 034-85-SA, del 25 de julio de 1985.
- Resolución Ministerial NQ 535-97-SA/DM, Código de Principios Generales de Higiene.

- Decreto Supremo No 88-67-DCS, Reglamento para apertura y control sanitario de plantas industriales de conformidad con el artículo No 160 del título "X" de la ley No 13270 de promoción industrial.
- Decreto Supremo No 034-85-SA, Reglamento de Aseo Urbano.
- Anteproyecto de Reglamento Nacional de Transporte Terrestre de Residuos Peligrosos, del 3 de julio del 2002.

ANEXO 2**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES
INTEGRALES DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS- GUÍA
PIGARS 2009****CONTENIDO****PRESENTACIÓN**

ANTES DE LEER LA GUÍA PIGARS ¿QUÉ ENCONTRARÁ EN ESTA GUÍA?

¿A QUIÉN ESTÁ DIRIGIDA ESTA GUÍA?

¿QUÉ ES EL PIGARS?

¿POR QUÉ HACER UN PIGARS?

¿QUIÉNES DEBEN HACER UN PIGARS? ¿CÓMO SE DEBE LEER ESTA
GUÍA?

DEFINICIONES**ABREVIACIONES:****PASO 1: ORGANIZACIÓN LOCAL PARA EL DESARROLLO DE UN
PIGARS**

1.1 Identificación de actores y planeamiento del PIGARS

1.2 Conformación del Comité Local de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos
(COGARS)

1.3 Elaboración del plan de trabajo

1.4 Conformación del Grupo Técnico local.

PASO 2: EL DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO

2.1. Descripción del área de estudio

2.1.1 Información básica del área de estudio

2.1.2 Contexto social 2.2. Aspectos técnicos operativos

2.3. Aspectos gerenciales, administrativos y financieros

PASO 3: ESTABLECIMIENTO DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCES DEL
PIGARS

3.1 Identificación del área geográfica y período de planeamiento

3.2 Selección de los tipos de residuos que se considerarán en el PIGARS

3.3 Definición del nivel del servicio y objetivos que se desean alcanzar

PASO 4: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

4.1 Alternativas en los aspectos gerenciales, administrativos y financieros

4.2 Alternativas en los aspectos técnico-operativos

4.3 Reforzamiento del modelo de gestión financiera

PASO 5: PREPARACIÓN DE LA ESTRATEGIA 5.1 Introducción

5.2 Formulación de la estrategia

PASO 6: FORMULACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DEL PIGARS

6.2 Introducción

6.3 El plan de acción PASO 7: EJECUCIÓN Y MONITOREO DEL PIGARS

7.1 Introducción

7.2 Pasos para poner en marcha el plan de acción

7.3 Pasos para monitorear y evaluar el plan de acción

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO 1. MODELO DE PLAN DE TRABAJO PARA LA FORMULACIÓN
DEL PIGARS

ANEXO 2. MODELO DE REGLAMENTO DE UN COMITÉ LOCAL DE
GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

ANEXO 3. MODELO DE DECRETO DE ALCALDÍA DE CREACIÓN DEL
COGARS

ANEXO 4. MÉTODO PARA CARACTERIZAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS

ANEXO 5. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MERCADO DE RESIDUOS
DE UNA LOCALIDAD

ANEXO 6. MODELO DE UN PIGARS

ANEXO 7. MODELOS DE ORDENANZA DE APROBACIÓN DEL PIGARS

ANEXO 8. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN SISTEMA DE
LIMPIEZA PÚBLICA (BARRIDO, RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE)

ANEXO 9. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN PROGRAMA
DE RECOLECCIÓN SELECTIVA Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS

ANEXO 10. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN SISTEMA
DE DISPOSICIÓN FINAL

ANEXO 11. CRITERIOS PARA ESTIMAR UNA CAMPAÑA DE
SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL

Introducción

ANEXO 12. MÉTODO SENCILLO PARA LA PRIORIZACIÓN DE
PROBLEMAS Y ELABORACIÓN DE OBJETIVOS

ANEXO 13. MODELO DE ENCUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE
RESIDUOS

ANEXO 14. INSTRUMENTOS DE APOYO DISPONIBLE

ANEXO 3

Tabla 4. Datos típicos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos domésticos, industriales

Tipos de residuos	Peso específico kg/m ³		Contenido de humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Residuos de comida	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-1151	320	2-4	3
Suciedad, cenizas, etc.	650-831	481	6-12	8
Cenizas	89-181	745	6-12	6

Fuente: Tchobanoglous G. –Theisen H. (1997) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”

ANEXO 4

Tabla 5. Constituyentes orgánicos rápidamente y lentamente biodegradables en los RSM

Componentes de residuos orgánicos	Rápidamente biodegradable	Lentamente biodegradable
Residuos de comida	Si	
Periódicos	Si	
Papel de oficina	Si	
Cartón	Si	
Plásticos		Si
Textiles		Si
Goma		Si
Cuero		Si
Residuos de jardín		Si
Madera		Si

Fuente: Tchobanoglous G. –Theisen H. (1997) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”

ANEXO 5**LEGISLACION AMBIENTAL Y 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:

- Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM.- Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, publicado el Jueves 21 de diciembre de 2017.
- Decreto legislativo N° 1065 que modifica algunos artículos de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, publicado el 28 de junio del 2008.

Decreto legislativo que modifica la ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, en los aspectos principales de perfeccionar los lineamientos de política, establece las competencias del Ministerio del Ambiente, especifica las competencias de las autoridades sectoriales, la autoridad de salud, la autoridad de transporte y comunicaciones, establece el rol de los gobiernos regionales y el rol de las municipalidades, precisa las responsabilidades del generador de residuos sólidos del ámbito no municipal, entre otros.

- Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos; aprobado el 21 de julio del 2000.

Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 del 21 de julio del 2000, que presenta las recomendaciones y establece lineamientos generales a tomar en consideración para la implementación y operación de las infraestructuras de disposición final de residuo, así mismo establece la obligatoriedad de elaborar Estudios de Impacto Ambiental en los proyectos de infraestructura de residuos sólidos, entre ellos el relleno sanitario. Tomar en consideración, la modificación de esta Ley dada por el Decreto Legislativo N° 1065.

- Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos; aprobado mediante Decreto Supremo N° 057-2004-PCM, aprobado el 22 de julio del 2004.

Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos, establece los criterios mínimos para la selección de sitio, habilitación, construcción, operación y cierre de las infraestructuras de disposición final. En la actualidad el presente Reglamento se encuentra en modificación.

- Reglamento para la Disposición de Basuras Mediante el Empleo del Método de Relleno Sanitario, aprobado mediante Decreto Supremo N° 06 - STN, el 09 de enero de 1964.

Reglamento para la disposición de basuras mediante el empleo del método de relleno sanitario; mediante el cual se asigna a las municipalidades la responsabilidad de efectuar la recolección de los residuos en su jurisdicción y realizar su disposición final

- Ley Orgánica de las Municipalidades - Ley N° 27972

Título V: Competencias y Funciones Específicas de los Gobiernos Locales, artículo 73°, numeral 3 señalan que las municipalidades distritales en materia de Protección y Conservación del Ambiente, cumplen las siguientes funciones:

- ✓ Formulan, aprueban, ejecutan y monitorean los planes y políticas locales en materia ambiental, en concordancia con las políticas, normas y planes regionales, sectoriales y nacionales.
- ✓ Proponen la creación de áreas de conservación ambiental.
- ✓ Promueven la educación e investigación ambiental en su localidad e incentivan la participación ciudadana en todos sus niveles
- ✓ Participan y apoyan a las comisiones ambientales regionales.

Coordinan con los diversos niveles de gobierno nacional, sectorial y regional, la correcta aplicación local de los instrumentos de planeamiento y gestión ambiental, en el marco del sistema nacional y regional de gestión ambiental.

- 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

Ley N° 26842 del 20-07-97 - 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 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 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. (Ver Ley N° 29263).

La implementación y operación de un relleno sanitario requiere del compromiso responsable del gestor o titular, partiendo de un proyecto que cuente con las aprobaciones y autorizaciones correspondientes antes de su implementación.

La inadecuada operación de estas infraestructuras de disposición final de residuos sólidos, ha generado desconfianza y rechazo de la población, a tal punto de confundir los términos de relleno sanitario con botadero, por lo que realizar la cobertura diaria de los residuos sólidos que se disponen como parte de la operación es de vital importancia, previniendo la proliferación de vectores, que ponen en riesgo la salud de los propios trabajadores y de la población.

Las instituciones que aprueban los estudios, otorgan opinión técnica favorable y autorizan el funcionamiento de las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos son las siguientes:

ANEXO 6

**CÁLCULOS EFECTUADOS PARA LA DISPOSICION FINAL DE UNA
PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES**

1. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

Resulta importante determinar la población futura que tendrá el distrito de Antauta para los próximos 10 años, a fin de calcular la cantidad de residuos sólidos municipales que se generan diaria y anualmente a lo largo de la vida útil del vertedero.

Para la proyección de la población se adoptó un crecimiento geométrico, para el cálculo se utilizó una tasa de crecimiento del 0,12% anual (índice de crecimiento para el distrito de según Antauta según el INEI), la siguiente ecuación nos permitir estimar las necesidades para los próximos 10 años.

$$P_f = P_o(1 + r) * n \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

P_f = Población futura

P_o = Población actual

r = Tasa de crecimiento de la población

n = (t final – t inicial) intervalo en años

t = variable tiempo (en años)

- Primer año $P_1 = 4683$
- Segundo año $P_2 = 4683 (1 + 0,012)^1 = 4739$
- Tercer año $P_3 = 4683 (1 + 0,012)^2 = 4796$

En la tabla 6 se puede apreciar el total de la proyección de la población.

Tabla 6. Proyección de la población del distrito de Antauta

N°	Año	Número de habitantes	Número de viviendas
1	2019	4683	1151
2	2020	4739	1155
3	2021	4796	1159
4	2022	4854	1163
5	2023	4911	1167
6	2024	4971	1171
7	2025	5030	1175
8	2026	5091	1179
9	2027	5152	1183
10	2028	5214	1187

Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Proyección de la población del distrito de Antauta

2. ESTUDIO DE GENERACIÓN RSM

a) El estudio de generación de RSM se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por el CONAM, en su guía PIGARS con algunas consideraciones hechas para adecuarse a las condiciones reales presentadas.

A continuación se presentan en la Tabla 7 los 61 valores que corresponden a la generación per cápita de cada vivienda participante. Cada valor se obtuvo de la suma de las fracciones orgánica e inorgánica de las familias participantes (durante los 7 días que dura la prueba) dividido entre el número de miembros de la vivienda y entre 7 días de la semana.

b) Estadísticos de muestra: A continuación, en la Tabla 7 se presentan los valores estadísticos de muestra obtenidos

Tabla 7. Generación per cápita de las “61” viviendas participantes

Vivienda	kg /hab día								
1	0,388	13	0,314	25	0,375	37	0,208	49	0,301
2	0,319	14	0,396	26	0,345	38	1,005	50	0,300
3	0,367	15	0,335	27	0,312	39	0,263	51	0,315
4	0,429	16	1,192	28	0,388	40	0,320	52	0,348
5	0,489	17	1,161	29	0,372	41	0,225	53	0,306
6	0,306	18	0,260	30	1,057	42	0,334	54	0,345
7	0,345	19	0,121	31	0,221	43	0,318	55	0,314
8	0,337	20	0,253	32	0,269	44	0,380	56	0,396
9	0,393	21	0,167	33	1,299	45	0,349	57	0,312
10	0,397	22	0,353	34	1,050	46	0,311	58	0,388
11	0,452	23	0,413	35	0,272	47	0,455	59	0,208
12	0,281	24	0,289	36	1,038	48	0,356	60	0,260
								61	0,121

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Estadísticos de Muestra

Media \bar{X}	Desviación Estándar "S"	Varianza "S²"
0,384	0,2902	0,074

Fuente: Elaboración propia

La generación per cápita de RSM de los habitantes de Antauta es de 0,384 kg/hab-día, y para el año 2019 la población se estima en 4683 habitantes (proyectado con datos del INEI, 2014), por lo que hoy en día se producen aproximadamente 1,7 toneladas de RSM diariamente.

3. GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO DE ANTAUTA

De la generación y composición de los desechos que serán manejados en Antauta, el cálculo de producción en el sector residencial es predominante, siendo las demás actividades incipientes que su consideración no alcanza a afectar de manera apreciable la cantidad total de RSM, salvo los provenientes de los mercados y de los visitantes, cuando existen atractivos turísticos.

Es conveniente estimar las cantidades de residuos que la población genera a través de la producción per cápita.

La cantidad de residuos sólidos generados y que se recolectaron en el distrito de Antauta, son de suma importancia para determinar el cumplimiento del programa general de gestión de residuos sólidos (almacenamiento, recolección, transferencia, posibilidades de reutilización y disposición final)

Tabla 9. Composición de residuos sólidos del distrito de Antauta

COMPONENTES	Residen. RS t/día	Comerc. RS t/día	Rest.. RS t/día	Educa. RS t/día	Mercados RS t/día	Barrido Calles t/día	Hospit. RS t/día	TOTAL RS t/día
ORGÁNICOS								
Residuos de Comida	0,20	0,02	0,03	0,01	0,4	0,07	0,25	0,24
Papel	0,02	0,02	0,01	0,1	0,03	0,02	0,03	0,23
Cartón	0,02	0,25	0,06	0,03	0,01	0,01	0,1	0,18
Plásticos	0,02	0,03	0,07	0,2	0,2	0,02	0,05	0,09
Textiles	0,01	0,01	0,03	0	0,02	0,02	0,01	0,1
Madera	0,02	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0,06
INORGÁNICOS								
Vidrio	0,01	0,02	0,02	0,1	0,11	0	0,02	0,42
Latas de hojalata	0,01	0,05	0,04	0,01	0,05	0,01	0,01	0,11
Aluminio	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,01
Otros Metales	0,01	0,01	0	0	0	0,05	0	0,07
Suciedad, cenizas, etc	0,01	0,02	0,03	0,01	0	0,15	0	0,26
Total	0,34	0,21	0,09	0,10	0,27	0,57	0,19	1,77

Fuente: Municipalidad Distrital de Antauta

Una variable necesaria para dimensionar los procesos de almacenamiento, recolección, posibilidades de reutilización y la disposición final es la llamada producción per cápita (ppc). Este parámetro asocia el tamaño de la población y las actividades comerciales, institucionales, educativas y de limpieza pública.

La tabla 4 muestra el factor de producción por actividad y la generación total de residuos sólidos del distrito de Antauta, los mismos que serán calculados en el transcurso del trabajo de investigación.

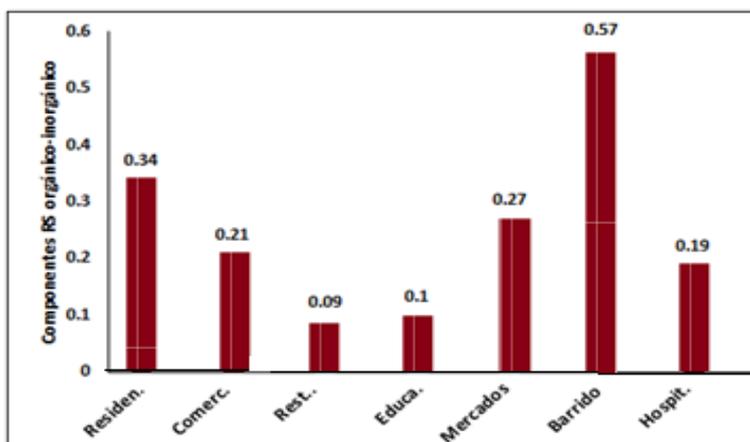


Figura 19. Composición de Residuos Sólidos del distrito de Antauta

4. PRODUCCIÓN PER CÁPITA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PROYECTADO (PPC)

Tabla 10. Generación de Residuos Sólidos del distrito de Antauta

Año	Población (hab)	PPC Kg/hab-día	CANTIDAD RESIDUOS SÓLIDOS		
			Diaria Kg/día	Anual t	Acumulado t/año
	1	2	3	4	5
2019	4683	0,378	1770,17	646,11	646,11
2020	4739	0,382	1810,30	660,76	1306,87
2021	4796	0,385	1846,46	673,96	1980,83
2022	4854	0,389	1888,21	689,20	2670,02
2023	4911	0,393	1930,02	704,46	3374,48
2024	4971	0,397	1973,49	720,32	4094,80
2025	5030	0,401	2017,03	736,22	4831,02
2026	5091	0,405	2061,86	752,58	5583,60
2027	5152	0,409	2107,17	769,12	6352,71
2028	5214	0,413	2153,38	785,98	7138,70

Fuente: Elaboración propia

5. **VOLUMEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS**

Tabla 11. Generación del volumen de residuos sólidos del distrito de Antauta

Año	VOLUMEN DESECHOS SÓLIDOS					
	Compactados				Relleno sanitario	
	Diario m ³	m.c. m ³ /día	Anual m ³	m.c. m ³ /año	(DS+ m.c.) Anual (m ³ /año)	Acumulado m ³
	6	7	8	9	10	11
2019	7	1,40	2555,00	511,00	3066,0	3066,0
2020	7,05	1,41	2573,25	514,65	3087,9	6153,9
2021	7,20	1,44	2628,00	525,6	3153,6	9307,5
2022	7,35	1,47	2682,75	536,55	3219,3	12526,8
2023	7,53	1,51	2748,45	551,15	3299,6	15826,4
2024	7,70	1,54	2810,50	562,10	3372,6	19199,0
2025	7,86	1,57	2868,90	573,05	3441,95	22640,95
2026	8,04	1,60	2934,60	584,00	3518,6	26159,55
2027	8,21	1,64	2996,65	598,60	3595,25	29754,80
2028	8,41	1,68	3069,65	613,20	3682,85	33437,65

Fuente: Elaboración propia

6. **CÁLCULO DEL ÁREA REQUERIDA**

Con el volumen se estimó el área requerida para la construcción del relleno sanitario, con la profundidad o altura que tendría el relleno que será de 3 m.

El relleno sanitario manual se proyectó para diez años. Este tiempo se llama vida útil o periodo de diseño.

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- Cantidad de RSM que se deberá disponer.
- Cantidad de material de cobertura.
- Densidad de compactación de los RSM.
- Profundidad o altura del relleno sanitario.
- Áreas adicionales para obras complementarias

A partir de la ecuación 6 podremos estimar las necesidades de área así

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

V_{RS} = Volumen de los residuos sólidos

h = Altura o profundidad del relleno sanitario

Se ha utilizado 3 m de altura del relleno sanitario en el distrito de Antauta, para encontrar el área total del relleno sanitario se utiliza el 30 % del valor del relleno sanitario, que se representa por F.

$$A_T = F + A_{RS} \quad \text{Ec. 7}$$

$$1022 \times (0,30) = 306,6$$

se reemplaza este valor en la ecuación y se tiene:

- Primer año : $A_T = 306,6 + 1022 = 1328,6 \text{ m}^2$

Tabla 12. Área requerida

Años	ÁREA REQUERIDA		
	Relleno sanitario m ²	Valor de F m ²	Área total m ²
	12	13	14
2019	1022,00	306,60	1328,60
2020	2051,30	615,39	2666,69
2021	3102,50	930,75	4033,25
2022	4175,60	1252,68	5428,28
2023	5275,46	1582,638	6858,098
2024	6399,66	1919,898	8319,558
2025	7546,98	2264,094	9811,074
2026	8719,85	2615,955	11335,805
2027	9918,26	2975,478	12893,738
2028	11145,88	3343,764	14489,644

Fuente: Elaboración propia

7. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas más importantes son: El contenido de humedad, el volumen y el peso específico:

1. Contenido de Humedad

Para el cálculo del contenido de humedad de los residuos sólidos, se utilizará el método peso-húmedo y la ecuación (7):

$$M = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad \text{Ec.}$$

Dónde:

M = Contenido de humedad en porcentaje

w = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse

Los contenidos de humedad de los residuos sólidos emplazados en el vertedero dan origen a la generación de lixiviados, los que se ven incrementados en época de avenidas; dichos lixiviados al no ser tratados producen contaminación en los cuerpos de agua subterráneos y superficiales, y en los suelos.

Aplicando la ecuación 7, se tendrá que el contenido de humedad del residuo sólido, en la tabla 8 se muestra la estimación del peso seco a obtener y poder aplicar la ecuación 1.

Tabla 13. Contenido de humedad

Componentes	RSM Total t/día	Contenido de Humedad Porcentaje	Peso Seco t/día
ORGÁNICOS			
Residuos de Comida	0,24	70	0,072
Papel	0,23	6	0,216
Cartón	0,18	5	0,171
Plásticos	0,09	2	0,088
Textiles	0,1	10	0,090
Madera	0,06	60	0,024
INORGÁNICOS			
Vidrio	0,42	2	0,411
Latas de hojalata	0,11	3	0,106
Aluminio	0,01	2	0,010
Otros Metales	0,07	3	0,067
Suciedad, cenizas, etc	0,26	8	0,239
Total	1,77		1,493

Fuente: Elaboración propia

8. PROPIEDADES QUÍMICAS

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los residuos sólidos es importante para evaluar una futura opción de procesamiento y recuperación.

1. Composición Química

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos del distrito de Antauta, se obtuvo la composición química que permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación, utilizando las fórmulas empíricas que a continuación se detallan, las fórmulas químicas empíricas para efectuar estos cálculos se encuentran en la pág. 24. (Tchobanoglous G. –Theisen H. 1995).

Fórmulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados

Fórmula química con azufre

Sin agua $C_{586}H_{934}O_{248}N_{12}S$ (para cálculo en base seca)

C_{586}	H_{934}	O_{248}	N_{12}	S	P.A.	
					$32 \times 1 =$	32
					$14 \times 12 =$	168
					$16 \times 248 =$	3968
					$1 \times 934 =$	934
					$12 \times 586 =$	7032

						12134 kg

Se efectúan los cálculos con los datos de la tabla 13 peso seco kg/día, para determinar cada componente de los residuos sólidos que se muestran en la tabla 14 anexo

6.

- Para el carbono en los resíduos de comida

$$12134 \text{ kg} \text{ ----- } 7032 \text{ kg de C}$$

$$72 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{7032 * 72}{12134} = 41,72 \text{ kg de C}$$

- Para el carbono en el cartón

$$12134 \text{ kg} \text{ ----- } 7032 \text{ kg}$$

$$216 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{7032 * 216}{12134}$$

$$X = 125,17 \text{ kg}$$

De igual manera se calculan los componentes orgánicos e inorgánicos en kilogramos.

Tabla 14. Composición química en base seca

COMPONENTES	Peso Húmedo kg/día	Peso Seco kg/día	Composición kg				
			C	H	O	N	S
ORGÁNICOS							
Residuos de Comida	240	75,14	41,72	5,54	23,54	3,65	0,69
Cartón	230	219,54	125,17	16,62	70,63	5,98	1,14
Papel	180	176,95	99,09	6,77	55,91	12,75	2,43
Plásticos	90	91,689	50,99	6,92	28,77	4,209	0,80
Textiles	100	84,916	52,15	1,85	29,43	1,246	0,24
Madera	60	27,94	13,90	5,54	7,84	0,55	0,11
Sub total	900	676.175	383,02	43,24	216,12	28,385	5,41
INORGÁNICOS							
Vidrio	420	43,901	23,81	3,63	13,4	2,57	0,491
Latas de hojalata	110	107,608	61,43	8,16	34,66	2,82	0,538
Aluminio	10	11,605	5,79	0,77	3,27	1,49	0,285
Otros Metales	70	66,999	38,82	5,15	21,91	0,94	0,179
Suciedad, cenizas, etc	260	242,015	138,5	18,39	78,15	5,86	1,115
Sub total	870	472,128	268,35	36,1	151,39	13,68	2,608
Total	1770	1148,30	651,37	79,34	367,51	42,065	8,018

Fuente: Elaboración propia

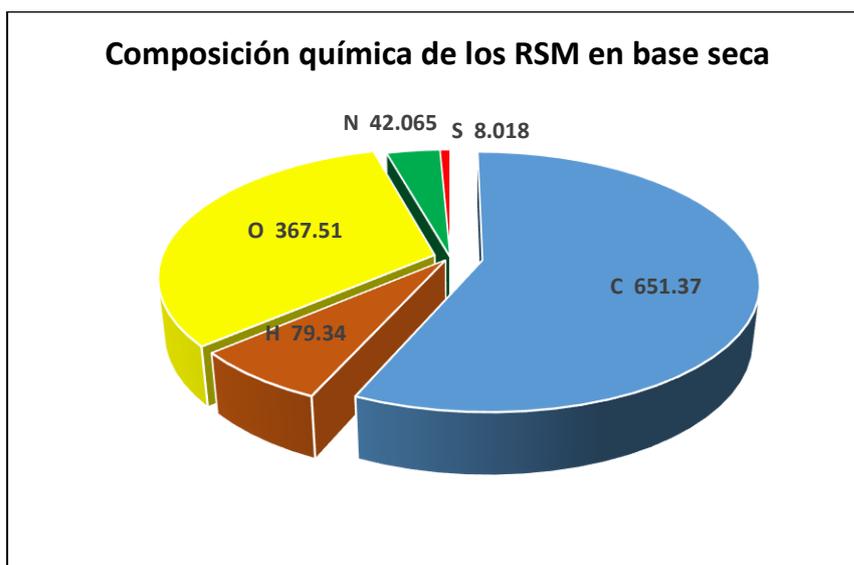


Figura 20. Composición química de los residuos sólidos base seca

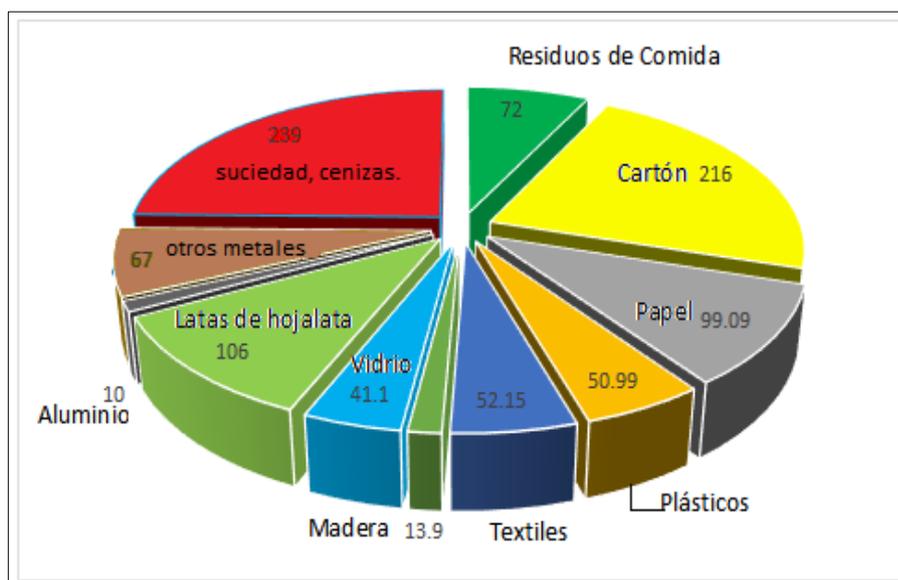


Figura 21. Composición física de residuos sólidos en base seca en porcentajes

Tabla 15. Composición química en base Húmeda

COMPONENTES	Peso Húmedo kg/día	Composición kg				
		C	H	O	N	S
ORGÁNICOS						
Residuos de Comida	240	71,55	22,32	144,08	1,71	0,32
Cartón	230	68,57	21,39	138,08	1,64	0,31
Papel	180	53,66	16,74	108,06	1,28	0,24
Plásticos	90	26,83	8,37	54,03	0,64	0,12
Textiles	100	29,81	9,30	60,03	0,71	0,14
Madera	60	17,88	5,58	36,02	0,42	0,08
Sub total	900	268,3	83,7	540,3	6,4	1,21
INORGÁNICOS						
Vidrio	420	125,22	39,07	252,15	2,99	0,57
Latas de hojalata	110	32,79	10,23	66,04	0,78	0,15
Aluminio	10	2,98	0,93	6,00	0,07	0,01
Otros Metales	70	20,87	6,51	42,02	0,50	0,09
Suciedad, cenizas, etc.	260	77,52	24,18	156,09	1,85	0,35
Sub total	870	259,38	80,92	522,3	6,19	1,17
Total	1770	527,68	164,62	1062,6	12,59	2,38

Fuente: Elaboración propia

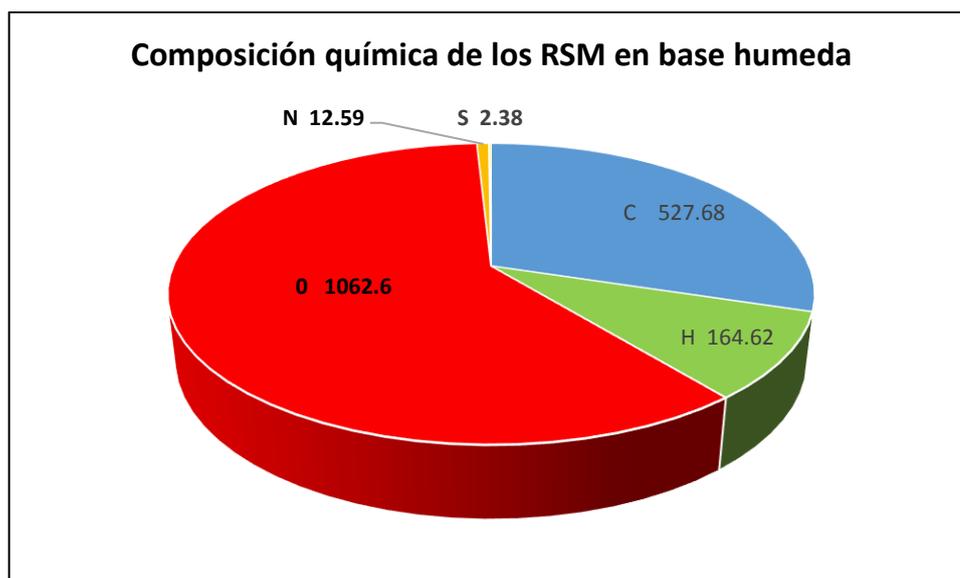


Figura 22. Composición química de los residuos sólidos base húmeda

Tabla 16. Distribución Potencial de los Elementos

Componente	Peso kg	
	Sin H ₂ O	Con H ₂ O
Carbón	651,37	527,68
Hidrógeno	79,34	164,62
Oxígeno	367,51	1062,6
Nitrógeno	42,065	12,59
Azufre	8,018	2,38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Componentes de los RSM rápidamente y lentamente

COMPONENTES	Peso Seco kg/día	Composición kg				
		C	H	O	N	S
Rápidamente descomponible						
Residuos de Comida	75,14	41,72	5,54	23,54	3,65	0,69
Cartón	219,54	125,17	16,62	70,63	5,98	1,14
Papel	176,95	99,09	6,77	55,91	12,75	2,43
Total	471,63	265,98	28,93	150,08	22,38	4,26
Lentamente descomponible						
Plásticos	91,689	50,99	6,92	28,77	4,209	0,8
Textiles	84,916	52,15	1,85	29,43	1,246	0,24
Madera	27,94	13,9	5,54	7,84	0,55	0,11
Total	204,545	117,04	14,31	66,04	6,005	1,15

Fuente: Elaboración propia

Se calcula la composición molar de los elementos lentamente y rápidamente descomponibles, para determinar las fórmulas químicas sin azufre, se utiliza la tabla 12 (anexo 10):

Para los cálculos de la composición molar se utiliza la siguiente fórmula (tabla 12)

$$n = \frac{m}{P.M.}$$

Dónde:

n = número de moles

m = masa en g

P.M. = peso molecular

1. Se efectúan los cálculos para los diferentes componentes, ejemplo para el carbono lentamente descomponible, tenemos:

$$n = \frac{117,04}{12,01} = 9,74$$

2. Se continúa con el cálculo de la composición molar de los demás elementos, los cuales que se detallan en la tabla 13.

Tabla 18. Composición molar de los elementos

Componente	Relación mol (nitrógeno =1)	
	Rápidamente descomponible	Lentamente descomponible
Carbono	13,86	22,75
Hidrogeno	17,93	33,08
Oxígeno	5,87	9,64
Nitrógeno	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia

Las siguientes tablas de la fracción orgánica son importantes pues con los datos hallados en dichas tablas se calculará la fórmula empírica de los residuos sólidos y la cantidad de gas que éstos generaran. (Tabla 14)

Tabla 19. Cálculos para determinar las relaciones normalizadas

	C	H	O	N	S
g/mol	12,01	1,01	16	14,01	32,06
Rápidamente descomponible	22,14	28,64	9,38	1,597	0,133
Lentamente descomponible	9,74	14,16	4,127	0,428	0,035

Fuente: Elaboración propia

3. Los cálculos se han efectuado con los datos de la tabla 3.11 de la siguiente manera:

Para el carbono tenemos:

$$c = \frac{\text{Peso del carbono } \left(\frac{g}{mol}\right)}{\text{Peso dl nitrogeno } \left(\frac{g}{mol}\right)} = \frac{22,14}{1,597} = 13,86$$

De igual manera se hacen los cálculos para los demás componentes, los mismos que se detallan en la tabla 14, de donde se determinan las siguientes fórmulas.

4. Las fórmulas químicas sin azufre son:

- **Rápidamente descomponible** $C_{13,86}H_{17,93}O_{5,87}N$
- **Lentamente descomponible** $C_{22,75}H_{33,08}O_{9,64}N$

Las fórmulas químicas a utilizar son:

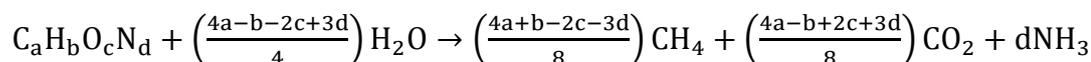
- **Rápidamente descomponible** $C_{13}H_{18}O_6N$
- **Lentamente descomponible** $C_{23}H_{33}O_{10}N$

9. CANTIDAD DE GAS QUE SE GENERA DE LA DESCOMPOSICIÓN DE LOS CONSTITUYENTES ORGÁNICOS

Se puede conceptualizar un relleno sanitario de residuos sólidos como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de vertedero y lixiviado como principales salidas.

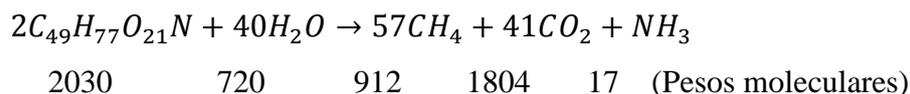
El volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaerobia se estimó con la fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$, entonces se calculó el volumen total del gas

utilizando la siguiente ecuación, suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO₂ y CH₄.



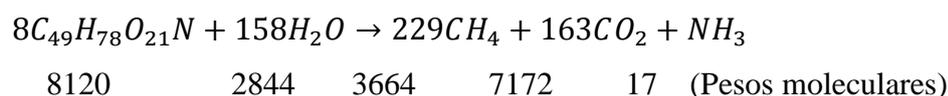
11.1. Cálculo rápidamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



11.2. Cálculo lentamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



11.3. Cálculo del volumen de metano y dióxido de carbono producido.

Se determinó los gases de metano y dióxido de carbono de la siguiente manera:

Los pesos específicos son:

$$CH_4 = 0,717 \text{ kg/m}^3$$

$$CO_2 = 1,978 \text{ kg/m}^3$$

c) Rápidamente descomponible de la materia orgánica

- Metano = $\frac{(912 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 811,54 \text{ m}^3$
- Dióxido de carbono = $\frac{(1804 \text{ kg})(1613 \text{ kg})}{(2030 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 424,48 \text{ m}^3$

d) Lentamente descomponible de la materia orgánica

- Metano = $\frac{(3664 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 241,53 \text{ m}^3$
- Dióxido de carbono = $\frac{(7172 \text{ kg})(414 \text{ kg})}{(8120 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 144,67 \text{ m}^3$

12. COMPOSICIÓN Y FORMACIÓN DEL CONTROL DEL LIXIVIADO EN EL VERTEDERO

El lixiviado es el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión.

En la mayoría de los rellenos sanitarios el lixiviado está formado por el líquido que entra en el vertedero desde fuentes externas, fundamentalmente el agua aportada por la humedad de los residuos, por la lluvia y por infiltraciones hacia la celda de disposición.

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.

En climas lluviosos se produce la infiltración del agua en las celdas de rellenos sanitarios, pudiendo llegar a saturar los residuos confinados y generar lixiviados con altas concentraciones de materiales contaminantes.

Para la estimación de la generación de lixiviados se utilizó la siguiente tabla de producción de aguas lixiviadas en situaciones diferentes, desarrollado por el Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED.

Tabla 20. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

10	Producción de aguas lixiviadas (% de la precipitación)	Producción de aguas lixiviadas		
		Precipitación 700 mm/año	Precipitación 1500 mm/año	Precipitación 3000 mm/año
Relleno manual	60	11,51	24,66	49,32
Relleno compactado por maquinaria liviana	40	7,67	16,44	32,88
Relleno compactado por maquinaria pesada	25	4,79	10,27	20,55

Fuente: Servicio Alemán de Cooperación Social – Técnica DED 2011

- Para el cálculo de la cantidad de lixiviado se tomó en cuenta el porcentaje de precipitación pluvial y en función de un factor de generación en $\text{m}^3/\text{año}$.
 - Precipitación anual en Antauta 628,8 mm
 - Área anual del relleno (ha): 0,1328 = (1 328,60 m^2)
 - Tipo de relleno del distrito de Antauta: Relleno manual

- **Cálculo del lixiviado**

$$628,8 \text{ mm} \times 0,60 = 377,28 \text{ mm}$$

$$377,28 \text{ mm} \times 1328,60 \text{ m}^2 = 495 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Cantidad de lixiviado} = \mathbf{501 \text{ m}^3/\text{año}}$$

ANEXO 7



Figura 23. Volquete recolector de RS.



Figura 24. Residuos sólidos en el distrito de Antauta



Figura 25. Recolección de residuos sólidos en viviendas

ANEXO 8



Figura 26. Proceso de tratamiento de residuos sólidos en el distrito de Antauta



Figura 27. Clasificación de residuos sólidos

ANEXO 9



Figura 28. Ubicación del vertedero en la Provincia de Melgar, Distrito de Antauta, Comunidad de Inkaumiña, a 15 km del distrito de Antauta



Figura 29. Distrito de Antauta