



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



**“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS
SÓLIDOS MEDIANTE UN RELLENO SANITARIO MANUAL,
PARA LA CIUDAD DE AZÁNGARO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ZAYDA JUDITH INOFUENTE CANAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

*Lleno de regocijo, de amor y esperanza,
dedico este trabajo, a cada uno de mis seres
queridos, quienes han sido mis pilares para
seguir adelante.*

*A mis padres la Sra. Martina Canaza Yto y
el Sr. Hernán Wilfredo Inofuente Calcina,
porque ellos son la mayor motivación de
mi vida, por el apoyo moral y económico
que me dieron gracias a ellos por confiar
siempre en mí.*

*A mis hermanos Lizet Ccopa y Lenin
Inofuente, por el apoyo que me dieron para
poder seguir adelante y poder culminar mi
meta.*

A todos ellos que Dios los bendiga y proteja siempre.

Zayda J. Inofuente Canaza



AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano - Puno por haberme permitido vivir esta maravillosa etapa de mi vida, poder estudiar y concluir mis estudios superiores, de igual manera a mis queridos docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo durante mi vida universitaria.
- A mis padres la Sra. Martina y el Sr. Hernán, por el apoyo moral y económico que me dieron gracias a ellos por confiar siempre en mí, estaré eternamente agradecida.
- Agradezco también a mi Director de Tesis el ing. Ciro Hernán Vera Alatriza por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.
- También agradezco a todos mis compañeros de clase y amigos Klinsmann y Erica, que compartí mi vida universitaria, ya que gracias al compañerismo y apoyo moral para concluir mi carrera profesional.
- Finalmente, gracias a Dios por la vida, la salud y por permitirme tener y disfrutar a mi familia.

Zayda J. Inofuente Canaza



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 10

ABSTRACT..... 11

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 13

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 20

1.2.1. Objetivo General 20

1.2.2. Objetivos Específicos..... 21

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO..... 22

2.1.1. Residuos Sólidos 22

2.1.2. Clasificación de residuos sólidos 22

2.1.3. Propiedades físicas 27

2.1.4. Composición química 29

2.1.5. Cantidad de gas que se genera de la descomposición de los
constituyentes orgánicos..... 29

2.1.6. Composición, formación del control del lixiviado en el relleno
sanitario 30

2.2. MARCO CONCEPTUAL 33

2.2.1. Botadero 33

2.2.2. Relleno sanitario 33

2.2.3. Relleno sanitario manual..... 34

2.2.4. Diseño de un relleno sanitario manual..... 34

2.2.5. Evacuación..... 37



2.2.6. Relleno Sanitario.....	38
2.2.7. Métodos de rellenos sanitarios.....	40
2.2.8. Criterios para el estudio de selección del área.....	43
2.2.9. Aspectos legales.....	46

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO	48
3.2. MATERIALES	50
3.2.1. Materia prima.....	50
3.2.2. Materiales y equipos	50
3.3. DIAGNÓSTICO SOBRE EL MANEJO DE LOS RSU EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO.....	51
3.3.1. Proyección de la población	51
3.3.2. Generación de los residuos sólidos municipales.....	52
3.4. PROPIEDADES, COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO, CANTIDAD DE GAS Y LIXIVIADOS QUE SE PRODUCIRÁN.	55
3.4.1. Caracterización de los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Azángaro.....	55
3.4.2. Composición de los residuos sólidos municipales.....	56
3.4.3. Producción per cápita de los residuos sólidos proyectado (ppc)	56
3.4.4. Propiedades físicas de los RSM.....	57
3.4.5. Material de cobertura (m.c.).....	59
3.4.6. Cálculo del área requerida	60
3.4.7. Composición de los residuos sólidos	61
3.4.8. Generación y composición de los residuos sólidos de la ciudad de Azángaro.....	62
3.4.9. Cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos.....	64
3.4.10. Composición y formación del control del lixiviado en el relleno sanitario	65
3.5. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO MANUAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO (PLANTA MANUAL DE RSM)	66



3.6. DISPOSICIÓN FINAL	67
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. RESULTADOS	70
4.1.1. Diagnóstico sobre el manejo de los rsu en la ciudad de Azángaro. ...	70
4.1.2. Composición de los residuos sólidos generados, cantidad de gas y lixiviados que se producirán en la ciudad de Azángaro	78
4.1.3. Diseño del relleno sanitario manual para la disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Azángaro	86
V. CONCLUSIONES.....	90
VI. RECOMENDACIONES	92
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	96

Área : Medio Ambiente

Tema : Gestión Integral de los Residuos Sólidos

Línea: Tecnologías Ambiental y Recursos Naturales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de febrero de 2022



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Residuos sólidos clasificados según origen	23
Tabla 2. Residuos sólidos según su composición química	24
Tabla 3. Cálculo del volumen	28
Tabla 4. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	32
Tabla 5. Composición de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro	63
Tabla 6. Proyección de la población de la Ciudad de Azángaro	71
Tabla 7. Generación per cápita de las "64" viviendas participantes	72
Tabla 8. Estadísticos de muestra	73
Tabla 9. Generación de residuos sólidos de la Ciudad de Azángaro	73
Tabla 10. Generación del volumen de residuos sólidos de la Ciudad de Azángaro	74
Tabla 11. Área requerida.....	76
Tabla 12. Contenido de humedad	78
Tabla 13. Composición química en base seca	80
Tabla 14. Componentes de los RSM, rápida y lentamente descomponibles	82
Tabla 15. Composición molar de los elementos	83
Tabla 16. Cálculos para determinar las relaciones normalizadas	83
Tabla 17. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario	85



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Balance Hídrico en un relleno sanitario	33
Figura 2. Diagrama de los elementos funcionales en un sistema de gestión de Residuos Sólidos. Tchobanoglous et al (1994).	37
Figura 3. Método de trinchera de un relleno sanitario manual	39
Figura 4. Método de trinchera para relleno mecanizado.	40
Figura 5. Método de trinchera para construir un relleno sanitario	41
Figura 6. Método de área para construir un relleno sanitario	42
Figura 7. Método combinado para construir un relleno sanitario.....	42
Figura 8. Ciudad de Azángaro	49
Figura 9. Ubicación de la ciudad de Azángaro-imagen satelital	50
Figura 10. Método del cuarteo para obtener la muestra de residuos sólidos	54
Figura 11. Proceso de segregación de los residuos sólidos	54
Figura 12. Composición de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro	63
Figura 13. Secuencia metodológica del estudio.	67
Figura 14. Ubicación del terreno para el relleno sanitario. Comunidad de Uray Jallapisi a 7 km de la ciudad de Azángaro	68
Figura 15. Proyección de la población de la ciudad de Azángaro.....	71
Figura 16. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Azángaro	79
Figura 17. Composición química de los residuos sólidos en base seca.....	81
Figura 18. Composición física de los residuos sólidos en base seca	81
Figura 19. Planta de tratamiento de Residuos Sólidos, disposición final de los RSM..	87
Figura 20. Ubicación del relleno sanitario.....	88



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
EIA	: Estudio de impacto ambiental
DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
MINAM	: Ministerio del Ambiente
RSM	: Residuos sólidos municipales
RSU	: Residuos sólidos Urbanos
PVC	: Policloruro de vinilo
PE-LD	: Low Density Polyethylene (polietileno de baja densidad)
PP	: Polipropileno
PS	: Poliestireno
PET	: tereftalato de polietileno
SUNARP	: Superintendencia Nacional de Registros Públicos
OPS	: Organización Panamericana de Salud
PPC	: Producción per cápita
GPC	: Generación per cápita
PIGARS	: Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de desarrollar una propuesta de sistema de gestión de los residuos sólidos mediante un relleno sanitario manual. En la primera etapa del estudio de cuantificación de la generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Azángaro, se determinó peso húmedo de 8 795,80 kg/día, peso seco de 6 468,25 kg/día, densidad de 558,81 kg/m³ y un volumen de 6 890,85 m³ para el primer año de funcionamiento, siendo la selección cuantificada de subproductos de la siguiente manera: residuos de comida 702,76 kg/día, papel 840,75 kg/día, cartón 1 275,28 kg/día, plásticos 438,26 kg/día, textiles 447,21 kg/día, madera 199,25 kg/día, vidrio 575,24 kg/día, latas de hojalata 413,79 kg/día, aluminio 48,82 kg/día, otros metales 337,39 kg/día, suciedad, cenizas 1 189,50 kg/día. En conclusión, la cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos se estimó con la fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$. Rápidamente descomponible metano 1 557,91, dióxido de carbono 3 495,18 m², Lentamente descomponible, metano 599,51 m², dióxido de carbono 487,55 m². El presente trabajo de investigación ha determinado que la cantidad de lixiviados que generarían los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Azángaro sería de 1 475,01 m³/año. El relleno sanitario tendrá un área de 2 986,03 m² para el primer año de funcionamiento y la proyección para 10 años es de 38 248,62 m² y estará ubicada en la Provincia de Azángaro, Distrito de Azángaro, Comunidad de Uray Jallapisi a 7 km de la ciudad de Azángaro.

Palabras clave: Gases, lixiviado, propiedades físicas y químicas, residuos sólidos, relleno sanitario.



ABSTRACT

This research work was carried out with the objective of developing a proposal for a solid waste management system through a manual sanitary landfill. In the study to quantify first stage of the generation and characterization of urban solid waste in Azángaro city, the wet weight of 8 795,80 kg/day, dry weight of 6 468,25 kg/day, density of 558,81 kg/m³ and a volume of 6 890,85 m³ for the operation first year, being the quantified selection of by-products as follows: food waste 702,76 kg/day, paper 840,75 kg/day, cardboard 1 275,28 kg/day, plastics 438,26 kg/day, textiles 447,21 kg/day, wood 199,25 kg/day, glass 575,24 kg/day, tin cans 413,79 kg/day, aluminum 48,82 kg/day, other metals 337,39 kg/day, dirt, ash 1 189,50 kg/day. In conclusion the gas amount that is generated from the decomposition of organic constituents was estimated with the generalized formula $C_aH_bO_cN_d$. Rapidly decomposable methane 1557, 91, carbon dioxide 3495, 18 m², slowly decomposable, methane 599,51 m², carbon dioxide 487,55 m². The present research work has determined that the leachate amount that would generate the urban solid waste of Azángaro city would be 1 475,01 m³/year. The sanitary landfill will have an area of 2 986,03 m² for the operation first year and the projection for 10 years is 38 248,62 m² and will be located in Azángaro Province, Azángaro District, Uray Jallapisi Community 7 km from Azángaro city.

Keywords: Gases, leachate, physical and chemical properties, solid waste, landfill.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU), tales como envases, empaques, restos de comida, textiles o de la limpieza de las calles y lugares públicos del Distrito de Azángaro, Provincia de Azángaro, Región Puno, con una población estimada en 20 696 habitantes y una densidad poblacional de 42,58 hab/km², proyectado con datos del INEI, 2017, se ha convertido en un problema que afecta en general a todas las actividades, personas y espacios, su inadecuado manejo y disposición final son causa de problemas ambientales y de salud pública, por lo que se hace necesario tener especial cuidado en el manejo que se le da a la basura que generamos dentro del hogar, centro de trabajo, siendo responsabilidad de las autoridades correspondientes quienes deben emprender las acciones necesarias para la adecuada recolección y disposición final de los mismos.

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).

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).

La municipalidad distrital de Azángaro tiene el problema de gestión y manejo de los residuos sólidos municipales, cuyas deficiencias técnicas, operativas y limitaciones en cuanto a la disponibilidad de recursos, equipamiento e infraestructura, sin estudios sobre la generación y composición de residuos sólidos urbanos con problemas de



recuperación y reaprovechamiento que permita diseñar e implementar un sistema de separación y recuperación de residuos sólidos, razón por la cual, los RS y otros de origen municipal son depositados directamente en el botadero sin ningún tipo de tratamiento y otra parte son arrojados en las calles, en los alrededores de la zona urbana, entre otros lugares (Mamani, 2017).

El presente trabajo de investigación ha sido elaborado en conformidad con la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 y su reglamento, que precisa el rol de los Gobiernos Locales en la formulación de sus respectivos FIGARS, como instrumentos de gestión pública de los residuos sólidos. Es necesario señalar que el presente trabajo de investigación trata sobre la propuesta de un sistema de gestión de los residuos sólidos mediante un relleno sanitario manual, para la ciudad de Azángaro, determinando los volúmenes de residuos sólidos, el área del relleno sanitario manual para la disposición final de los residuos sólidos, cantidad de gas y lixiviados que se producen en el relleno sanitario.

El principal objetivo del presente trabajo de investigación es desarrollar la propuesta de un sistema de gestión de los residuos sólidos mediante un relleno sanitario manual a través de un diagnóstico sobre el manejo de éstos, determinando sus propiedades y composición de los residuos sólidos, la cantidad de gas y lixiviados que se producirán a través del diseño del relleno sanitario manual propuesto para la disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Azángaro.

1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Causa M. (2019), determinó la generación per cápita total de los residuos domiciliarios y no domiciliarios, los resultados obtenidos son: Generación Per- Cápita es de 0,32 kg/hab/día, lo cual en la composición de residuos domiciliarios en los residuos inorgánicos con 118,65 kg/día, los residuos orgánicos es de 116,40 kg/día. La densidad



promedio es de 155,33 Kg/m³. Los resultados de los residuos Sólidos Municipales No domiciliarias en la Generación Per – Cápita en las tiendas fue de generación Total de 4,91 Kg/ día, en las Instituciones Públicas el promedio de la generación total es de 5,59 Kg/ día , la generación total es de 1,167 Ton/Año, la Generación total de las Instituciones Educativas es de 8,52 Kg/ día , lo cual Generó total de 3,111 Ton/año, el barrido de calles tiene como generación total de 7,01 kg/día ,aproximadamente generó 2,56 Ton/Año, en los restaurantes la generación total es de 2,90 kg/día. El relleno sanitario Manual tiene un volumen mínimo es de 3 321,73 m³, el área útil mínima es de 1 384,05 m², Área adicional es de 1 660,9 m², área adicional en total es de 1 937,7 m², y la vida útil del proyecto será de 5 años.

Pettiagiani E. *et al.* (2012), Caracterizó los RSU, 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 tendría destino de disposición final en el relleno sanitario.

Fernández (2010), determina que el método más adecuado para un relleno sanitario es de trinchera o zanja, pues se adapta mejor a la topografía del terreno y el material de excavación es utilizado para cubrir los residuos. El presupuesto para la inversión haciende 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.

Sánchez M. *et al.* (2013), implementaron un Programa de Educación Ambiental, 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).

Macias *et al.* (2018), el estudio de los RSU se llevó a cabo mediante el análisis de la implementación de la política pública de residuos en el estado de Hidalgo y sus municipios que actualmente se denomina gestión integral de residuos sólidos urbanos. Para este propósito, se presentó una breve revisión conceptual de los residuos que contempla un cambio en la forma de comprender su problemática que va desde elementos indeseables en la escena urbana hasta recursos en diversos procesos productivos. El análisis de la implementación de la GIRSU se lleva a cabo a través de un modelo híbrido que combina elementos top-down y bottom-up, desde una perspectiva territorial.

Los criterios propuestos para mejorar la gestión de los RSU en el estado de Hidalgo y sus municipios son: 1) Gestión de información, 2) regulación y planificación y 3) la coordinación intersectorial y multinivel. Al combinar estos criterios se puede reemplazar la lógica sectorial actual en la gestión de los RSU por una visión territorial que permita tomar decisiones informadas y evaluar la política de residuos en el estado y sus municipios.

Diaz y Vallejo (2017). propone un diseño para un nuevo relleno sanitario, realiza una proyección de los habitantes a 30 años, y por medio del método corenostós y determina la cantidad de gases y lixiviados que se van a producir durante toda la vida útil del relleno, los cálculos se realizaran en dos tipos de escenarios para los cuales se define un escenario con la disposición de solo material orgánico y un segundo escenario con disposición de todo tipo de material. Para poder realizar un adecuado diseño y tener un control de estos contaminantes, se plantea aplicar una solución sostenible en los temas de



tratamiento para los mayores contaminantes que se presentan como lo son los en metano, el dióxido de carbono y los lixiviados. Para la clausura y postclausura del relleno sanitario realiza un diseño de acuerdo con lo establecido en el método RAS, buscando así minimizar los posibles impactos negativos que conllevan la construcción de este proyecto.

Castrillón *et al.* (2004), 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, a través de un programa denominado MIRS (manejo integral de residuos sólidos), obteniendo 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.

Sangama (2017), determinó que la GPC de residuos sólidos domiciliarios fue de 0,57 kg/hab/día (1.75 Ton/día), y la generación de Residuos Sólidos no Domiciliarios fue de 0,178 Ton/día, lo que hace un total de 1,93 Ton/día de residuos sólidos municipales. La composición de residuos sólidos fue: 69,82% de materia Orgánica, 4,98% de telas y textiles, 3,79% de plástico duro, 3,51% de cartón, 2,77% latas, 2,72% de plástico duro y los demás componentes en menor porcentaje. La densidad sin compactar de los Residuos Sólidos domiciliarios fue 215 kg/m³, el porcentaje de humedad promedio de los Residuos Sólidos domiciliarios y no domiciliarios fueron respectivamente 36% y 26%.

Caljaro (2014), determinó el tamaño de muestra por métodos aleatorios simples,



obteniendo un total de 216 en zona rural y 52 en zona urbana, los resultados obtenidos indican que la producción per cápita de residuos sólidos domiciliarios es 0,086 kg/hab/día en la zona rural y 0,170 kg/hab/día en la zona urbana; los mencionados datos permite dar una propuesta para disminuir la contaminación ambiental; lo cual planteamos: la educación ambiental a través de talleres de capacitación en coordinación con las autoridades de cada centro poblado, colegios, organizaciones sociales y otros para concientizar a la población; la inmediata implementación y equipamiento de relleno sanitario y caracterizar los residuos sólidos para tener un manejo adecuado de residuos sólidos.

Zapata & Zapata (2013), 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.

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.

Mamani (2017), realizó una propuesta de plan de Manejo de Residuos Sólidos y la caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Huancané se ha efectuado aplicando la estadística descriptiva de la producción Per Cápita en función de las características socioeconómicas; en la cual se determinó que la producción Per Cápita de residuos sólidos domiciliarios es 0,283kg/hab/día como promedio para la ciudad de Huancané. El plan se desarrolló de manera sencilla con conceptos y técnicas para el manejo de residuos sólidos, sin detallar diseños técnicos esperando que el plan amplié el conocimiento de quienes se interesan en el manejo de residuos sólidos.



Ugwu et al., (2021), exploraron varios dominios de publicaciones como Elsevier, Engineering Village, Science Direct, Taylor and Francis, Springer Books, Research Gate, etc., para comprender los diferentes enfoques de varios autores sobre las estrategias de gestión de los residuos sólidos generados en las universidades de todo el mundo. Llegando a la conclusión de cuatro categorías principales que presentan los mayores desafíos para el medio ambiente, la atmósfera, toda la población y durante todas las etapas de manejo porque contribuyen con el mayor porcentaje tanto en volumen como en peso. Incluyen: orgánico, papel, polietileno y plástico. Algunas de las estrategias incluyen la prevención de la generación de residuos evitables, la reducción de los residuos generados a través de la recuperación, la reutilización de los residuos recuperados, el reciclaje de los reciclables, el compostaje de residuos orgánicos para la generación de energía/electricidad y la disposición final en rellenos sanitarios. Las estrategias se basaron en los principios del enfoque de Gestión Integrada de Residuos Sólidos (GIRS) (3R) de una gestión sostenible de residuos eficiente y eficaz, como Reduce, reúsa y recicla.

Singh et al., (2022), sostienen que se pueden esterilizar y utilizar productos reciclados en lugar de utilizar artículos de un solo uso. Para evitar que aumente la acumulación de residuos. En consecuencia, se deben seguir las instrucciones para minimizar la generación de residuos, es decir, reposo de los residuos por lo menos 72 h antes de su disposición final, desinfección de la bolsa de disposición, etc. La pandemia llevará a crear un futuro más fuerte y diferente mundo como fundamento/lección. Algunas de las principales recomendaciones establecidas son: dado que las situaciones actuales han afectado la eliminación y recolección de desechos, las políticas eficientes y estrictas de eliminación de desechos requieren una aplicación y adopción significativas por parte de los países para prevenir la transmisión del virus a través de los desechos sólidos



producidos por pacientes, hogares y hospitales aislados. Para respaldar la planificación de la gestión de residuos, se requieren herramientas de optimización y toma de decisiones, es decir, métodos de tratamiento, instalaciones, capacidad (escalabilidad), logística, recolección movilizadora/automatizada (por ejemplo, robots controlados a distancia) y diseño de tratamiento, protección, y los aspectos regulatorios están vinculados a la respuesta a los biodesastres.

Wang et al., (2021), estudiaron los desechos sólidos municipales (MSW) que contenían PW se excavaron en cuatro vertederos en los Estados Unidos y se degradaron en simuladores de vertederos durante 4 a 5 años. Los MSW y PW degradados se estabilizaron durante otros 5 a 6 años. Las muestras de PW degradadas, frescas, semifrescas y dañadas mecánicamente se caracterizan mediante microscopía electrónica de barrido, goniómetro, espectroscopia infrarroja transformada de Fourier y calorimetría diferencial de barrido. Se observan cambios significativos en el ángulo de contacto y el índice de carbonilo en las muestras degradadas en comparación con las muestras semifrescas. Los cambios en las propiedades se limitan a las superficies PW, mientras que la cristalinidad a granel no muestra una alternancia obvia. Este estudio presenta la primera serie de correlaciones entre los cambios en el índice de carbonilo plástico debido a la degradación y las características de los RSU, incluida la composición inicial, la tasa de generación de biogás y la tensión vertical inducida por la biodegradación.

Anand et al., (2022), llegaron a la conclusión de que se requiere investigación adicional no solo sobre la desinfección específica del coronavirus, sino también sobre la vigilancia o el monitoreo regular de las cargas virales en lodos de depuradora, aguas residuales y lixiviados de vertederos. Las estrategias de desinfección deben optimizarse en términos de dosis y posibles impactos adversos como la resistencia a los



antimicrobianos, entre muchos otros factores. Finalmente, la presencia de SARS-CoV-2 y otros microorganismos patógenos en lodos de depuradora, aguas residuales y lixiviados de vertederos puede obstaculizar la posibilidad de garantizar agua potable y salud pública en países económicamente marginados y dificultar la realización de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. (ODS).

Propp et al., (2021), afirman que no hubo una disminución clara en estas concentraciones de CEC con la edad en los rellenos sanitarios cerrados de 30 a 60 años, al menos cuando los compuestos se introdujeron por primera vez o se generalizaron, lo que destaca su larga persistencia en los rellenos sanitarios históricos. Estos datos indican que los rellenos sanitarios históricos pueden seguir siendo fuentes a largo plazo de estos CEC para el medio ambiente en el futuro previsible. Las concentraciones máximas observadas para muchos de estos CEC en estos lixiviados, las muestras de agua subterránea se encontraban dentro de los rangos informados para lixiviados de vertederos modernos (es decir, más recientemente cerrados o actualmente activos). Tanto los vertederos históricos como los modernos pueden suministrar agua contaminada con lixiviados a la planta de tratamiento de aguas residuales y tienen el potencial de filtrarse, lo que afectaría a las aguas subterráneas circundantes. Sin embargo, los rellenos sanitarios de RSU históricos, aunque normalmente se ignoran como fuentes de CEC como PFAS, pueden representar un mayor riesgo para la salud humana y ambiental.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Objetivo General

Demostrar la factibilidad de una gestión integral de residuos sólidos que mejor se adapta a las necesidades de la ciudad de Azángaro, a través de un relleno sanitario manual.



1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico sobre el manejo de los RSU en la ciudad de Azángaro.
- Determinar la composición de los residuos sólidos, la cantidad de gas y lixiviados que se producirán en la ciudad de Azángaro.
- Diseñar el relleno sanitario manual para la disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Azángaro (planta manual de residuos sólidos municipal).



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos (*Tchobanoglous, 1994*), son considerados, dentro de una gran variedad de materiales sólidos, también algunos líquidos, los que se tiran o rechazan por estar gastadas, ser inútiles, sin valor, o estar en exceso. Estos pueden ser domésticos, industriales, agrícolas, comerciales, urbanos (incluyen todos los residuos generados de viviendas residenciales, edificios de apartamentos, establecimientos comerciales y de negocios, instalaciones institucionales, actividades de construcción y demolición, servicios municipales y lugares de plantas de tratamiento, residuos voluminosos y de construcción).

2.1.2. Clasificación de residuos sólidos

Para el conocimiento que se tiene a la fecha sobre los residuos sólidos, se desarrolló varias formas de clasificarlos: (*Tchobanoglous, 1994*).

- 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.

2.1.2.1. Clasificación por su origen

Tabla 1. *Residuos sólidos clasificados según origen*

Actividades generadoras	Componentes
Domiciliarios	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	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	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)	Producidos por servicios de salud, tales como: hospitales, clínicas, laboratorios, farmacias, clínicas veterinarias, puestos de salud, etc. Están constituidos por: <ul style="list-style-type: none">▪ 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.▪ 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	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	Envases de abonos, insecticidas y herbicidas altamente tóxicos, etc.

Escombros	Demoliciones y restos de obras, tierra de excavaciones, etc. Los escombros generalmente son un material inerte, que puede ser reaprovechado.
------------------	--

Fuente: Tchobanoglous 1994

2.1.2.2. 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 (Tchobanoglous, 1994).

Tabla 2. *Residuos sólidos según su composición química*

ORGÁNICOS	COMPOSICIÓN
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.
Plástico	(botellas de gaseosa), PE-HD (recipientes de agua y leche y botellas para detergentes), plásticos mezclados (no seleccionados), otros plásticos (PVC.
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.
INORGÁNICOS	COMPOSICIÓN
Vidrio	Vidrio de recipientes, vidrio plano
Lata de hojalata	Envases de conservas, leche evaporada, etc.
Aluminio	Envases de bebidas, aluminio secundario (Ollas, tapas, chapas, etc.)

Fuente: Tchobanoglous et al (1994).



2.1.2.3. 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). Según la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos (Perú), define a los residuos sólidos peligrosos como aquellos que por sus características o el manejo al que son o van a ser sometidos representen un riesgo significativo para la salud o el ambiente. Se consideran peligrosos a los que presenten por lo menos una de las siguientes características: auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radiactividad o patogenicidad.

Dentro de los residuos peligrosos Se consideran residuos peligrosos a las mascarillas y guantes descartables usadas en estos tiempos de pandemia debido a que hablamos de residuos producidos por el generador de alguna de las principales características como en este caso infecciosos, que podrían causar daño a la salud humana; en este contexto, las mascarillas y guantes descartables son residuos biosanitarios peligrosos, ya que hablamos de elementos o instrumentos usados durante la ejecución de procedimientos asistenciales que tienen contacto con materia orgánica sangre o fluidos corporales de un paciente humano (dentro de los cuales decimos que nosotros nos asistimos para evitar el contagio o contagiar a otros individuos con este virus). Hablando de las mascarillas, el manejo seguro de estos desechos biomédicos y sanitarios es esencial para la salud comunitaria y la integridad del medio ambiente.

Las mascarillas y guantes descartables utilizados como barrera sanitaria por las personas deben ser retirados con cuidado luego de su uso. En el caso de las mascarillas, estas deben doblarse a la mitad de modo que las gotas generadas de la nariz y boca no queden expuestas; luego, se deben romper las tiras, lazos o bandas (para evitar su reuso).



Tanto las mascarillas como los guantes deben disponerse en una bolsa plástica que debe ser amarrada con doble nudo y, en la medida de lo posible, se le debe rociar una solución de hipoclorito de sodio (lejía) al 0.5% de dilución o según las indicaciones de desinfección del etiquetado del producto (el producto a utilizar debe contar con autorización de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria - DIGESA), para su posterior disposición final en el contenedor de residuos sólidos más cercano. Por ningún motivo se deberán disponer estos materiales en la vía pública, ni abrir las bolsas. En otros anexos, también se incluye que, dentro de la disposición final, se deberá quemar la mascarilla desechable, en esta situación incinerar los residuos hospitalarios como primera opción porque son desechos no fáciles o imposibles de reciclar, sin embargo, hablamos de lugares o ciudades que sí tengan una planta de quema de residuos, y se espera que sea una medida temporal.

Sobre su disposición final: En caso de que la disposición final se haga de manera manual, recordar esparcir los residuos en capas no mayores a 0.6 metros, incluyendo la cobertura. Se recomienda rociar una solución de hipoclorito de sodio (lejía) al 1% de dilución sobre los residuos y cubrirlos con material de cobertura, para luego compactarlo empleando un tractor tipo oruga, en caso se realice de manera mecanizada, o con pisonos manuales o rodillos compactadores en caso se haga de manera manual.



Tratamiento e impacto ambiental

El tratamiento y la evacuación de desechos sanitarios puede entrañar riesgos indirectos para la salud, a través de la liberación al medio de patógenos y contaminantes tóxicos.

- Si no están bien contruidos, los rellenos sanitarios pueden contaminar el agua de bebida. Además, todas las instalaciones de evacuación de desechos indebidamente diseñadas, gestionadas o mantenidas entrañan riesgos ocupacionales.
- La incineración de desechos es desde hace tiempo una práctica muy extendida, pero si no es total o si se incineran materiales que no se prestan a este tipo de tratamiento, se liberan a la atmósfera agentes contaminantes, así como cenizas residuales. Si se someten a incineración productos que contienen cloro, estos pueden liberar dioxinas y furanos, sustancias que son cancerígenas para el ser humano y han sido asociadas a diversos efectos perjudiciales para la salud. La incineración de metales pesados o productos con alto contenido metálico (en particular, de plomo, mercurio y cadmio) puede provocar la dispersión en el medio de metales tóxicos. (<https://theconversation.com/las-consecuencias-de-la-incorrecta-eliminacion-de-millones-de-mascarillas-141236>
<https://www.dw.com/es/los-residuos-pl%C3%A1sticos-del-coronavirus-contaminan-el-medio-ambiente/a-53278504>)

2.1.3. Propiedades físicas

De acuerdo a (Tchobanoglous et al.,1994), entre las propiedades físicas de los residuos se encuentran:

- **Peso específico**

Definido como el peso de un material por unidad de volumen (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 típica de 300 Kg/m^3 (Tchobanoglous *et al.*, 1994). 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 la ciudad de Azángaro, permitirá el diseño de infraestructura necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil del relleno sanitario propuesto.

Tabla 3. Cálculo del volumen

Componentes	RS Total	Peso	Volumen m^3
	Húmedo Ton/Día	Específico Típico kg/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			

Fuente: Tchobanoglous et al (1994).

2.1.4. Composición química

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.

Se utilizan 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.*, 1994).

Formulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados

✓ *Formulas químicas sin azufre:*

Sin Agua $C_{49}H_{79}O_{21}N$

Con Agua $C_{49}H_{185}O_{75}N$

✓ *Formula química con azufre*

Sin agua $C_{586}H_{934}O_{248}N_{12}S$

Con agua $C_{586}H_{2194}O_{885}N_{12}S$

Formulas químicas empíricas de la fracción orgánica

✓ *Formulas químicas sin azufre:*

Sin agua $C_{20}H_{31}O_{10}N$

Con agua $C_{20}H_{78}O_{34}N$

✓ *Formula química con azufre*

Sin agua $C_{291}H_{445}O_{143}N_{0.7}S_{14}$

Con agua $C_{291}H_{1124}O_{486}N_{0.7}S_{14}$

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

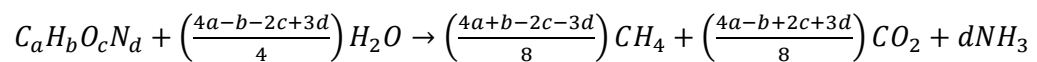
Un relleno sanitario de residuos sólidos es como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases de relleno sanitario y lixiviado



como principales salidas (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

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

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



2.1.6. Composición, formación del control del lixiviado en el relleno sanitario

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 relleno sanitario 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. La escorrentía también lo genera, 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. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

2.1.6.1. 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 el sistema de tratamiento que se pueda aplicar a dichos lixiviados (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

- **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. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

- **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 la tabla 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.*, 1994).

Tabla 4. 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: Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, DED - Deutscher Entwicklungsdienst – Ilustre Municipalidad de Loja, Servicio Alemán de Cooperación Social - Técnica Dirección de Higiene www.ded.org.ec

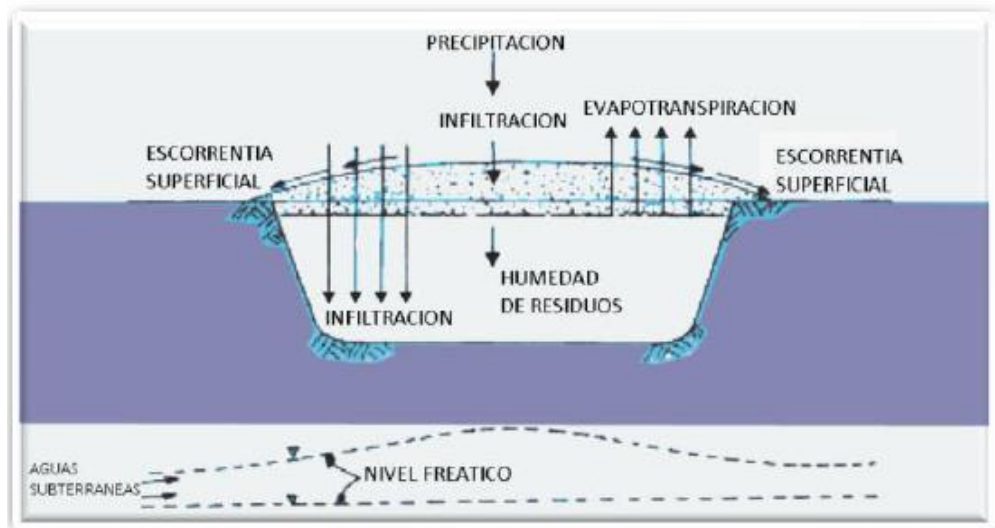


Figura 1. Balance Hídrico en un relleno sanitario

Fuente: Tchobanoglous et al. (1994)

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 (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Botadero

Es aquel sitio donde los residuos sólidos se abandonan al aire libre sin separación ni tratamiento alguno. Los líquidos y gases no son manejados adecuadamente, por lo que son fuentes de contaminación ambiental y de la proliferación de vectores (Ayala, 2010).

2.2.2. Relleno sanitario

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).

2.2.3. Relleno sanitario manual

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).

2.2.4. Diseño de un relleno 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).



2.2.4.1. Residuos domiciliarios

Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios (Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos).

2.2.4.2. Segregación

Es el proceso por el cual debemos de ser capaces de separar de forma correcta y eficiente los distintos productos desechados (OPS, 2003).

2.2.4.3. Vida útil

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

2.2.4.4. 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.

2.2.4.5. 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 (Eguizábal, 2009).



2.2.4.6. 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 relleno sanitario.

2.2.4.7. 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 (Eguizábal, 2009).

2.2.4.8. 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.

2.2.5. Evacuación.

Actualmente, la evacuación de los residuos se hace normalmente al relleno sanitario controlado o mediante la extensión en superficie, 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:

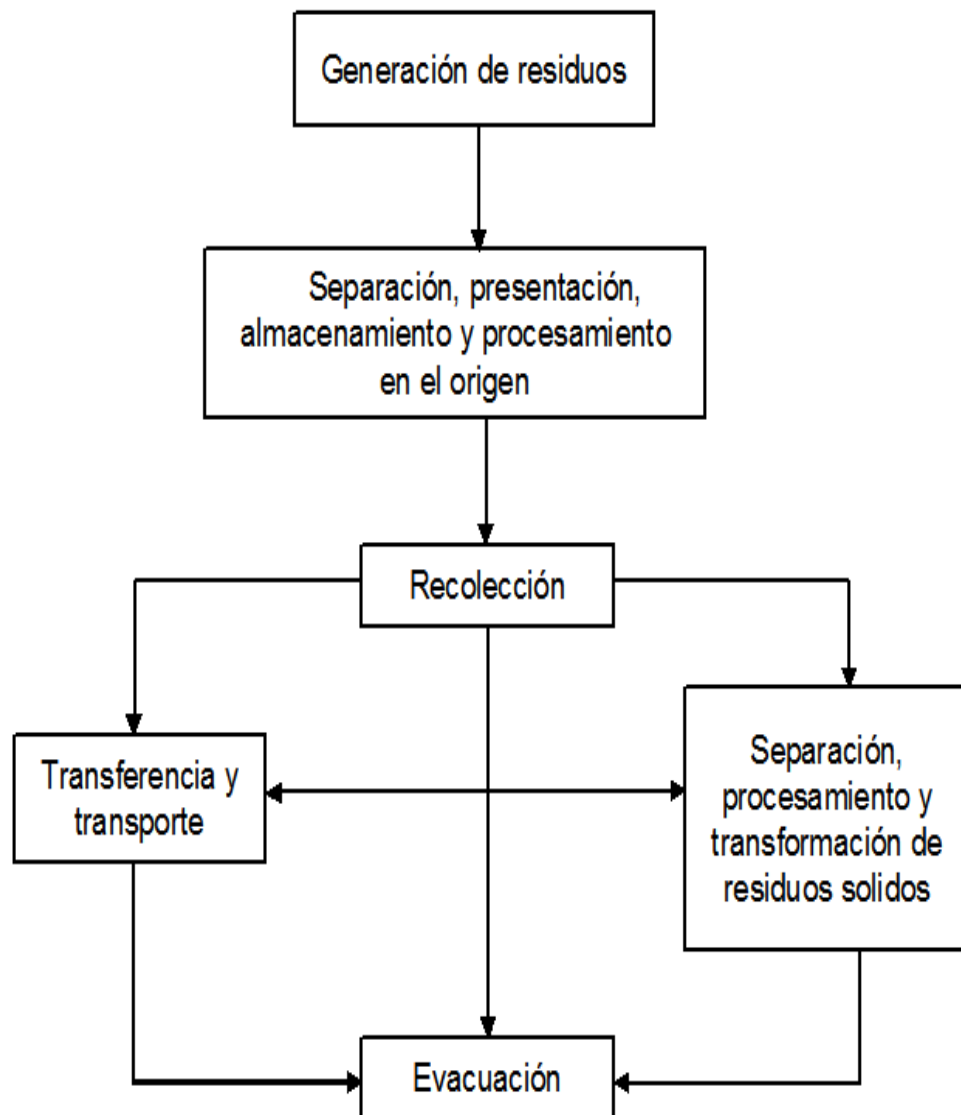


Figura 2. Diagrama de los elementos funcionales en un sistema de gestión de Residuos Sólidos. Tchobanoglous et al (1994).

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.

Teniendo como base la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos, se procede a elaborar un Plan de Gestión de Residuos Sólidos

2.2.6. Relleno Sanitario

Los 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.*, 1994).

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

2.2.6.1. Relleno sanitario manual

Un relleno sanitario manual (Jaramillo, 2002), 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.

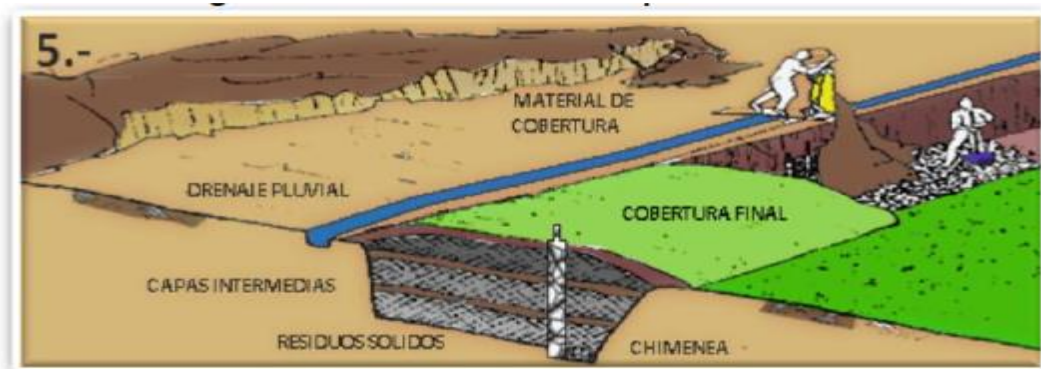


Figura 3. Método de trinchera de un relleno sanitario manual

Fuente: Tchobanoglous *et al* 1994.

2.2.6.2. Relleno 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.*, 1994).

2.2.6.3. Relleno 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.*, 1994).

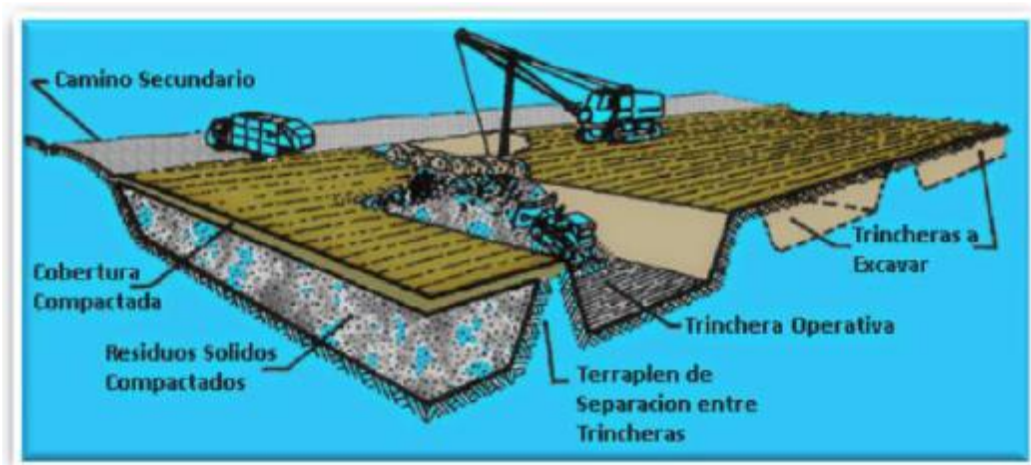


Figura 4. Método de trinchera para relleno mecanizado.

Fuente: Tchobanoglous et al (1994).

2.2.7. 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.*, 1994).

2.2.7.1. 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 el apoyo de una retroexcavadora o tractor de oruga. La tierra que se extrae, se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra.

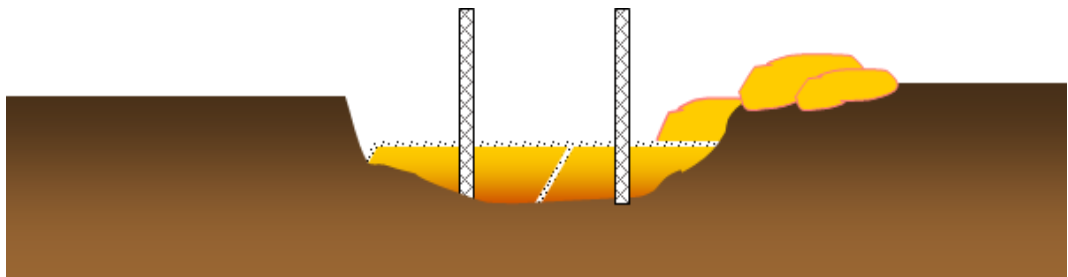


Figura 5. Método de trinchera para construir un relleno sanitario

Fuente: Tchobanoglous et al (1994).

La Basura es esparcida y compactada en una trinchera excavada. El material de recubrimiento se obtiene de la propia excavación.

2.2.7.2. Método de área

En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, éstas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras se construyen estableciendo una pendiente suave para evitar

deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

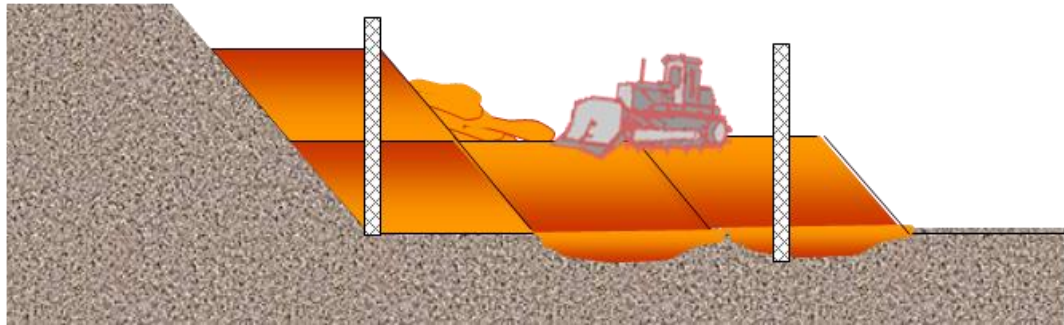


Figura 6. Método de área para construir un relleno sanitario

Fuente: Tchobanoglous *et al* (1994)

Los residuos son esparcidos y compactados en la superficie natural del terreno.

2.2.7.3. Combinación de ambos métodos

Es necesario mencionar que, dado que estos dos métodos de construcción de un Relleno Sanitario tienen técnicas similares de operación, pueden combinarse lográndose un mejor aprovechamiento del terreno del material de cobertura y rendimientos en la operación.

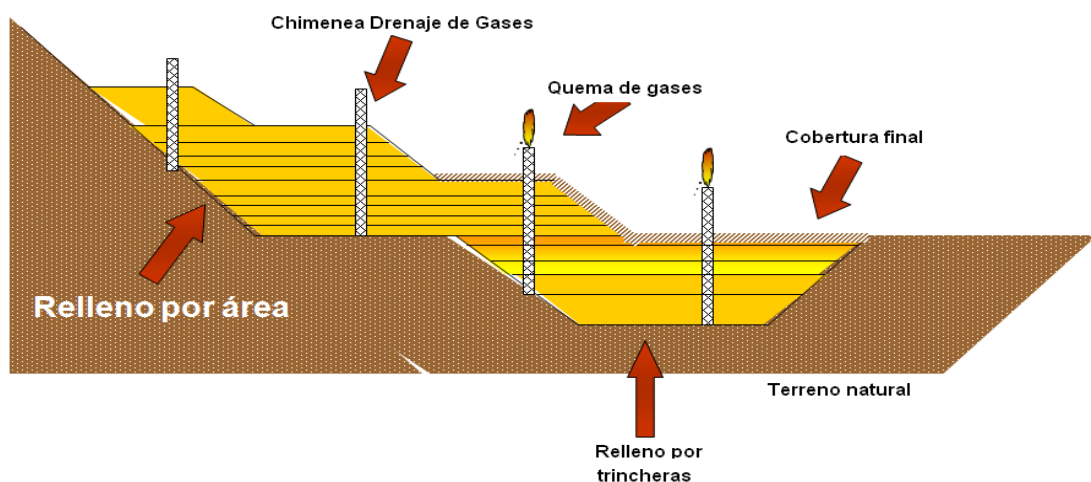


Figura 7. Método combinado para construir un relleno sanitario

Fuente: Tchobanoglous *et al* (1994)

El material de recubrimiento se obtiene directamente en el frente de trabajo y es compactado sobre los residuos.



2.2.8. 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: (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

2.2.8.1. 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

2.2.8.2. 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.

2.2.8.3. 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 (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

2.2.8.4. 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.

2.2.8.5. 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.

2.2.8.6. 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.

2.2.8.7. 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.

2.2.8.8. 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 (Calva, 2014).

2.2.8.9. 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 (Calva, 2014).

2.2.8.10. 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 (Calva, 2014).



2.2.8.11. 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 subsuperficiales, 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 (Calva, 2014).

2.2.8.12. 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 (Macias *et al.*, 2018).

2.2.9. Aspectos legales

2.2.9.1. Saneamiento físico legal del terreno

Es recomendable que un proyecto de relleno sanitario inicie solamente cuando la entidad responsable del relleno (Municipio), tenga en 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.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el ámbito del, Distrito de Azángaro, Provincia de Azángaro, región Puno; ubicado al norte de la región Puno, con cotas que van desde los 3 850 m.s.n.m, dentro de las coordenadas geográficas Latitud Sur: 14°54'35", Latitud Oeste: 70°11'50". Su extensión territorial es de 706,13 km², tiene una población estimada en 20 696 habitantes y una densidad poblacional de 42,58 hab/km².

La presente investigación contempla el manejo, disposición final, y el aprovechamiento de los residuos sólidos que están dentro de la composición de los RSU, es decir, la materia orgánica e inorgánica. No contempla el estudio y tratamiento de los residuos peligrosos, generado en las actividades de hospitales, clínicas y laboratorios de análisis. La razón principal es que requiere de un manejo especializado el cual no es materia de esta investigación.

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



Figura 8. *Ciudad de Azángaro*



Figura 8.1. *Ubicación de la ciudad de Azángaro*



Figura 9. *Ubicación de la ciudad de Azángaro-imagen satelital*

Fuente: Google Maps.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Residuos sólidos municipales de la ciudad de Azángaro.

3.2.2. Materiales y equipos

3.2.2.1. Material de origen orgánico-inorgánico

- Residuos sólidos municipales (RSM) generados por la población de Azángaro.
- Bolsas de Polietileno (20 x 30 cm).
- Mesa de trabajo.
- Mascarillas, casco de protección y guantes profilácticos.
- Lugar para la caracterización de RSM en el botadero Municipal.
- Manta de segregación de polietileno de espesor 2 um y 2,5 um.
- Cilindro.



3.2.2.2. Equipos

- Balanza Marca METTLER TOLEDO AB204 Max. 100 kg.
- Motocarga marca Yansumi clásico.
- Camioneta modelo Pickup.

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 Azángaro) para labores de caracterización de los RSM.

3.3. DIAGNÓSTICO SOBRE EL MANEJO DE LOS RSU EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO

3.3.1. Proyección de la población

Resulta importante determinar la población futura que tendrá la ciudad de Azángaro 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 relleno sanitario.

Para la proyección de la población se adoptó un crecimiento geométrico, para el cálculo se utilizó una tasa de crecimiento del 0,4 % anual (índice de crecimiento para la ciudad de según Azángaro según el INEI), la siguiente ecuación nos permitir estimar las necesidades para los próximos 10 años.

$$P_f = P_o (1 + r)^n \quad (1)$$

Dónde:

P_f = Población futura

P_o = Población actual



r = Tasa de crecimiento de la población

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

- Primer año $P_1 = 20\ 696$
- Segundo año $P_2 = 20\ 696 (1+0,004)^1 = 20\ 779$
- Tercer año $P_3 = 20\ 696 (1+0,004)^2 = 20\ 862$

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

3.3.2. Generación de los residuos sólidos municipales

3.3.2.1. Cálculo del tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se calcula utilizando la fórmula de (Cantanhede *et al.*, 2005), de acuerdo a la guía de metodológica para la elaboración de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales y la guía metodológica para el desarrollo de estudios de caracterización de residuos sólidos municipales (MINAM, 2015) del Distrito de Azángaro, de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Dónde:

n = muestra de las viviendas

Z = nivel de confianza 95% = 1.96

σ = desviación estándar

E = error permisible

N = total de viviendas

El número de viviendas urbanas del distrito de Azángaro en el 2019 es de 5 174 viviendas (Tabla 6), utilizamos un nivel de confianza del 95%, con desviación estándar de 0,25 kg/hab./día y un error permisible de 0,0655 kg/hab/día, de acuerdo a los cálculos se determinó una muestra de 64 viviendas según los cálculos que se detallan a

continuación.

$$\text{Dividiendo la población } n = \frac{1,96^2 \times 5174 \times 0,25^2}{(5174-1) \times 0,0655^2 + 1,96^2 \times 0,25^2} = 64$$
$$n = 64 \text{ viviendas}$$

3.3.2.2. Selección de los lugares de muestreo

Los residuos sólidos son generados en toda la ciudad de Azángaro; con el objeto de determinar la composición de los residuos, se ha dividido en residenciales, y no residenciales. La determinación del tamaño de muestra y volumen se ha realizado de acuerdo a la “GUIA PIGARS” de octubre del 2001, los lugares de muestreo donde se efectuó el muestreo son los siguientes:

- **Residenciales**

De acuerdo a las características de la población, tomando en cuenta el nivel económico, se ha realizado en base a información de los resultados definitivos de los censos nacionales del 2017 desarrollados por el INEI. Las viviendas en las que se realizó el muestreo fueron 41 viviendas tomadas aleatoriamente.

- **No residenciales**

Los muestreos fueron seleccionados en 23 establecimientos, por la actividad comercial, de acuerdo a la cantidad de volumen de residuos sólidos generados por locales comerciales, restaurantes, instituciones, centros educativos, mercado y finalmente el barrido de calles.

3.3.2.3. Toma de Muestras

El muestreo para el recojo de los residuos sólidos empezó luego de ser identificados los lugares tanto residenciales como no residenciales, el recojo fue utilizando las bolsas de plástico durante 7 días a la semana y guardadas en el lugar que se destinó para su respectiva clasificación.

3.3.2.4. Segregación

La segregación de los residuos sólidos en gran volumen generados en la ciudad de Azángaro, fueron separados por el método del cuarteo en forma manual, luego se seleccionó de acuerdo a los parámetros en orgánicos e inorgánicos.

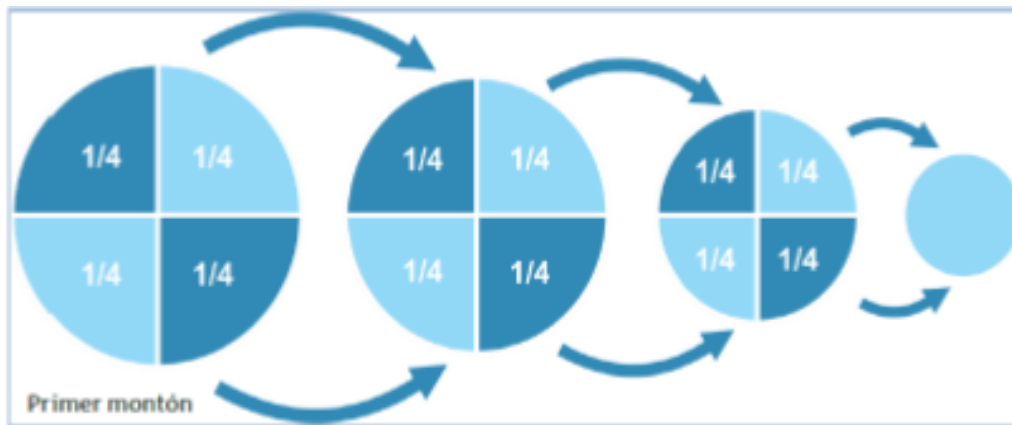


Figura 10. Método del cuarteo para obtener la muestra de residuos sólidos

Fuente: Guía metodológica, Ministerio del Ambiente (2019)



Figura 11. Proceso de segregación de los residuos sólidos

3.3.2.5. 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, 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.

3.3.2.6. 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

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 la ciudad de Azángaro; una vez segregada y pesada las muestras. (Ver tablas 7,9,11,12 de anexos).

3.4. PROPIEDADES, COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO, CANTIDAD DE GAS Y LIXIVIADOS QUE SE PRODUCIRÁN.

3.4.1. Caracterización de los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Azángaro

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 relleno sanitario.

Se empleó como materia prima inicial los residuos sólidos municipales de la ciudad



de Azángaro provenientes de la población y se realizaron los siguientes pasos cuyos cálculos se observa en la tabla 7.

3.4.2. Composición de los 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 8 se muestra los 64 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.

La generación per cápita de RSM de los habitantes de es de 0.425 kg/hab-día y para el año 2 020 la población del municipio de Azángaro estima en 20 696 habitantes.

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

La cantidad diaria de residuos sólidos que genera la población es de 20 696 habitantes de la ciudad de Azángaro cuya generación se estimó de la siguiente manera:
0.425 kg/hab-día

$$ppc = \frac{\text{Cantidad de residuos} \left(\frac{kg}{día} \right)}{\text{población} \times \text{cob}} \quad (3)$$
$$ppc = \frac{8796 \frac{kg}{día}}{20\ 696 \text{ habitantes} \times 0,90} = 0,425 \text{ kg/hab. día}$$

$$ppc_1 = 0,425 \text{ kg/hab. día}$$

Los cálculos sobre la producción per cápita se efectuó con la formula indicada en la ecuación 3 y se realizó en un día.



➤ Proyección de la generación per cápita y generación total de residuos sólidos

Se estima que la producción per cápita aumentará en 1 % anual, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ppc = ppc_1 x (1\%) \quad (4)$$

- Primer año $P_1 = 0,425 \text{ kg/hab-día}$
- Segundo año $P_2 = 0,425 (1,01)^2 = 0,433 \text{ kg/hab-día}$
- Tercer año $P_3 = 0,433 (1,01)^3 = 0,446 \text{ kg/hab-día}$

De igual manera se calcula para los demás años (columna 2 de la tabla 9)

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

- $R. S. \text{ anual} = \frac{0,425 \frac{\text{kg}}{\text{hab-día}}}{\text{pob-día}} * 20\,696 \text{ pob} * 365 \text{ dias} = 321\,046 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$

Los datos proyectados se observan en la tabla 8, columnas 3, 4 y 5

3.4.4. Propiedades físicas de los RSM

Las propiedades físicas más importantes son:

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

3.4.4.1. Humedad

Para el cálculo del contenido de humedad de los residuos sólidos, se ha utilizado el método peso-húmedo y la ecuación 3:

$$M = \frac{w - d}{w} x 100 \quad (5)$$

Dónde:



M = Contenido de humedad en porcentaje

w = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse

El contenido de humedad de los residuos sólidos emplazados en el relleno sanitario da 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 5, se tendrá que el contenido de humedad de los residuos sólidos, en la tabla 12, se muestra la estimación del peso seco a obtener y poder aplicar la ecuación 5.

3.4.4.2. 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 nuestra investigación se utilizó la técnica recomendada por el MINAM para determinar la densidad de los residuos sólidos de la ciudad de Azángaro de acuerdo a lo siguiente: (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2012):

- Se utilizó un recipiente cilíndrico con capacidad de 150 litros
- Se midió la altura y diámetro del recipiente cilíndrico.
- Se escogió al azar las bolsas de las ya registradas y pesadas y se vació su contenido dentro del recipiente, anotando el código de las bolsas.
- Una vez lleno el recipiente, levantamos el cilindro 20 cm sobre la superficie y dejamos caer, la finalidad es de uniformizar la muestra llenando los espacios vacíos del cilindro.
- Medir la altura y registrar el dato.
- Se repite el mismo procedimiento hasta terminar con todas las muestras
- Para determinar la densidad se efectuaron los siguientes cálculos de acuerdo a la fórmula:



$$\rho = \frac{m}{v} \quad (6)$$

Dónde:

Masa de los RSM=8 795,8 kg

Volumen = 15,74 m³

Densidad =

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

$$\rho = \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{8\,795,8\text{ kg}}{15,74\text{ m}^3} = 558,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.4.4.3. Volumen de los residuos sólidos

El volumen total de los residuos sólidos que genera la ciudad de Azángaro, permite el diseño adecuado de rutas, frecuencias y número de unidades de recolección, número y capacidad de contenedores y el diseño de infraestructura, área requerida necesaria para la disposición final y el cálculo de la vida útil del relleno sanitario a construir, se desarrolló de acuerdo al volumen total de los residuos sólidos generados en la ciudad de Azángaro.

El volumen necesario se calcula con los datos de la tabla 10, La columna 6 se ha calculado teniendo en cuenta la densidad y la masa diaria de acuerdo a lo siguiente:

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

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (7)$$

$$v = \frac{8\,795,8 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{558,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 15,74 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Los datos proyectados se observan en la tabla 9, columnas 10 y 11

3.4.5. 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 8), así:

$$m. c. = V \text{ diario compactado } x (0,20 \text{ ó } 0,25) \quad (8)$$

- Para el primer año $m. c. = 15,74 \times 0,20 = 3,15$
- Para el segundo año $m.c.= 16,10 \times 0,20 = 3,22$
- Volumen para el primer año:

$$V_{RS}=15,74 + 3,15 =18,89 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$V_{RS}= 18,89 \text{ m}^3/\text{día} \times 365 \text{ días}= 6894,85 \text{ m}^3$$

Se efectúa la proyección para los siguientes años. Tabla 10, columna 7.

3.4.6. 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.

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h}$$

El primer año

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} = \frac{6890,85\text{m}^3}{3 \text{ m}} = 2296,95\text{m}^2 = 2,29 \text{ ha}$$

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 9, podremos estimar las necesidades de área así:

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} \quad (9)$$

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 la ciudad de Azángaro, para encontrar el área total del relleno sanitario se utiliza el 30 % del valor del relleno sanitario.

$$A_T = F + A_{RS} \quad (10)$$

Dónde:

$$F = 2\,296,95 \times 30\% = 689,08$$

Se reemplaza este valor en la ecuación y se tiene:

$$\text{Para el primer año: } A_T = 689,08 + 2\,296,95 = 2\,986,03 \text{ m}^2$$

$$\text{Para el año 10 será de } 38\,248,62 \text{ m}^2$$

Ver resultados tabla 11.

3.4.7. Composición de los residuos sólidos

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos de la ciudad de Azángaro, se obtuvo la composición que permitirá evaluar las opciones de procesamiento y recuperación, utilizando las fórmulas empíricas que a continuación se detallan, estos cálculos se encuentran en la pág. 24. (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

Fórmulas químicas empíricas del total de residuos sólidos generados

Fórmula química sin azufre (cálculo en base seca)

$$\text{Sin agua } C_{20}H_{31}O_{10}N \quad (11)$$

$$\begin{array}{r}
 C_{20}H_{31}O_{10}N \\
 \begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} 14 \times 1 = 14 \\
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} 16 \times 10 = 160 \\
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \end{array} \right\} 1 \times 31 = 31 \\
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \end{array} \right\} 12 \times 20 = 240 \\
 \hline
 445
 \end{array}
 \end{array}$$



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.

3.4.8. Generación y composición de los residuos sólidos de la ciudad de Azángaro

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

- 1) Generación de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro
- 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 Azángaro, 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 en la ciudad de Azángaro, 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 5.

El cálculo de la producción y composición de los residuos sólidos en la ciudad de Azángaro es importante, siendo predominante la producción en el sector comercio, restaurantes y mercados, lo cual implica una recomendación a la Municipalidad que tengan y cumplan un programa de gestión de los residuos sólidos.

Tabla 5. Composición de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro

COMPONENTES	Residen.	Comerc.	Rest..	Educa.	Mercados	Barrido	Hospit.	TOTAL
	RS	RS	RS	RS	RS	Calles	RS	RS
	Ton/día	Ton/día	Ton/día	Ton/día	Ton/día	Ton/día	Ton/día	Ton/día
ORGANICOS								
Residuos de Comida	0,33	0,51	0,46	0,13	0,51	0,87	0,38	3,19
Papel	0,22	0,31	0,38	0,18	0,24	0,42	0,03	1,78
Cartón	0,14	0,25	0,06	0,08	0,10	0,01	0,1	0,74
Plásticos	0,12	0,03	0,07	0,2	0,20	0,02	0,64	1,28
Textiles	0,18	0,01	0,03	0	0,12	0,02	0,01	0,37
Madera	0,14	0,01	0	0	0,01	0,02	0	0,18
INORGANICOS								
Vidrio	0,13	0,02	0,02	0,1	0,21	0	0,02	0,37
Latas de hojalata	0,09	0,05	0,04	0,01	0,05	0,01	0,01	0,26
Aluminio	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0,02
Otros Metales	0,12	0,01	0	0	0,2	0,05	0	0,38
Suciedad, cenizas, etc	0,01	0,02	0,03	0,01	0	0,15	0	0,22
Total	1,36	1,23	1,09	0,71	1,64	1,57	1,19	8,79

Fuente: Municipalidad Distrital de Azángaro

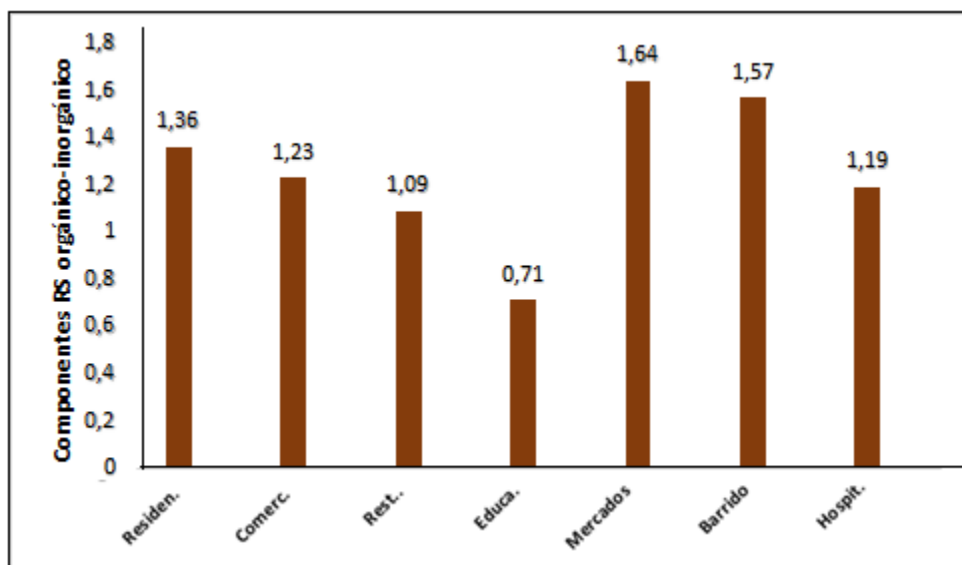


Figura 12. Composición de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro

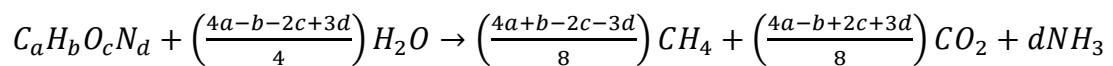


La producción per cápita (ppc) de residuos sólidos es un parámetro que asocia el tamaño de la población y las actividades comerciales, institucionales, educativas y de limpieza pública, siendo una variable importante para dimensionar los procesos.

La tabla 5 muestra composición de residuos sólidos de la ciudad de Azángaro, los mismos que serán calculados en el transcurso del trabajo de investigación.

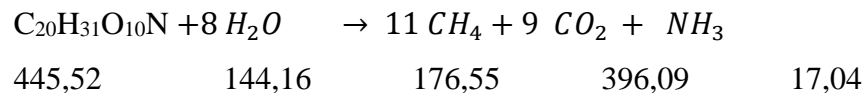
3.4.9. Cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos

Se calculó el volumen total del gas utilizando la siguiente ecuación, suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO₂ y CH₄



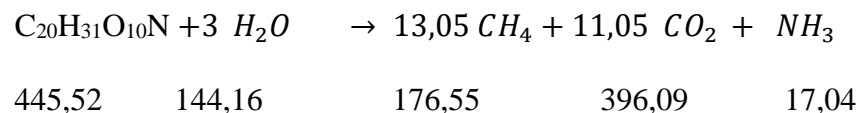
3.4.9.1. Cálculo rápidamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



3.4.9.2. Cálculo lentamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



siendo la cantidad de gas que se produciría de la siguiente manera.

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:

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

$$\text{CO}_2 = 1,978 \text{ kg/m}^3$$

a) Rápida y descomponible de la materia orgánica

$$\text{Metano} = \frac{(176,55 \text{ kg})(2\,818,79 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 1\,557,91 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(396,09 \text{ kg})(2\,818,79 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 3\,495,18 \text{ m}^3$$

b) Lentamente descomponible de la materia orgánica

$$\text{Metano} = \frac{(176,55 \text{ kg})(1\,084,72 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 599,51 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(396,09 \text{ kg})(1\,084,72 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 487,55 \text{ m}^3$$

3.4.10. Composición y formación del control del lixiviado en el relleno sanitario

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 relleno sanitario 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.

- 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 Azángaro 823,4 mm
- Area anual del relleno (Has): 2,98 = (2 986,03 m^2)
- Tipo de relleno en la ciudad de Azángaro: Relleno manual

Los cálculos ver tabla 12.

Cantidad de lixiviado= 1 475,01 $m^3/año$

3.5. DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO MANUAL PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE AZÁNGARO (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.

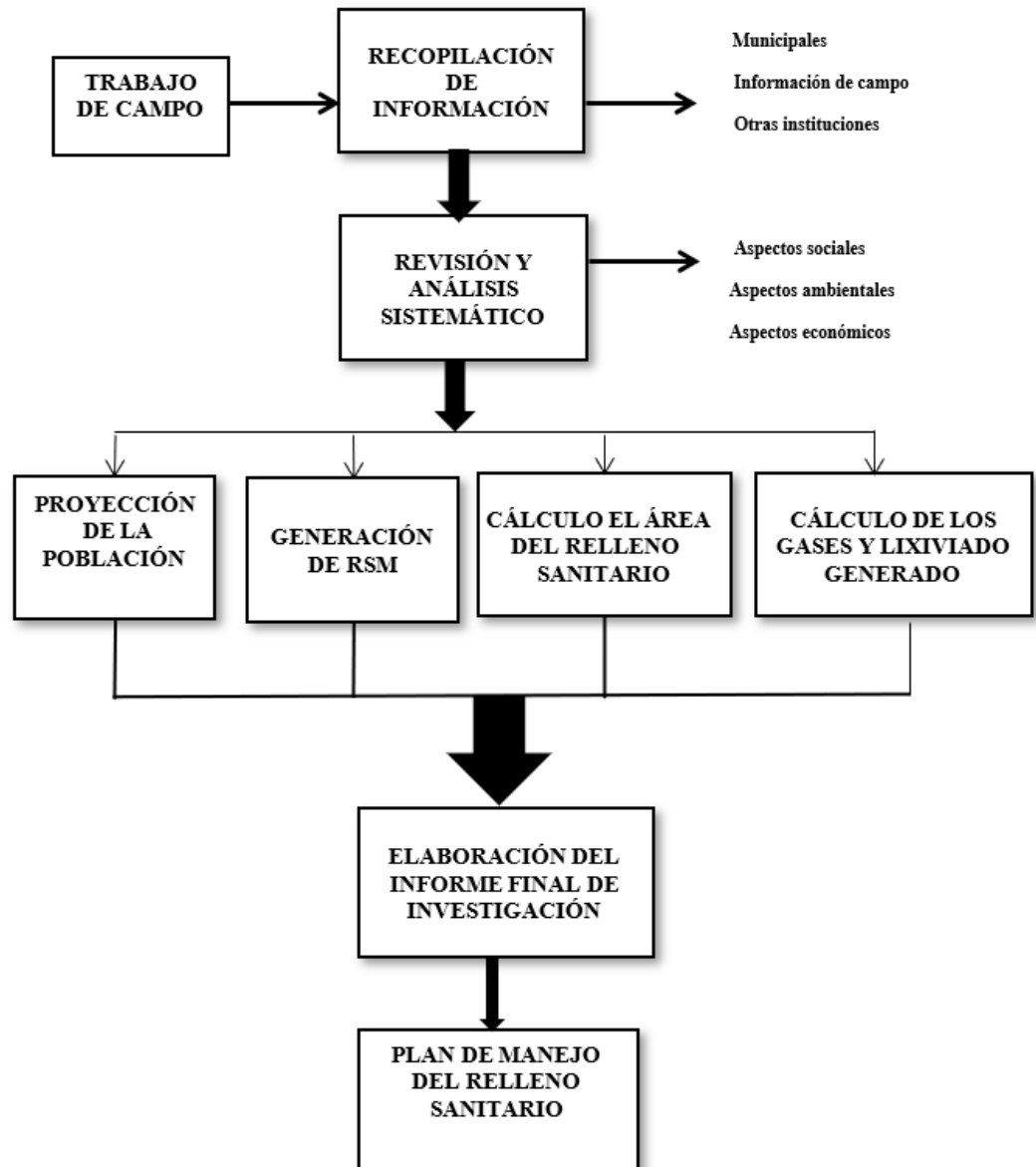


Figura 13. *Secuencia metodológica del estudio.*

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 cuenta con un lugar adecuado para la disposición final de éstos.

El relleno sanitario se ubicará en la comunidad de Uray Jallapisi a 7 km del Distrito de Azángaro, Provincia de Azángaro.

Para la ejecución del “Plan integral para el manejo y disposición final de los

residuos sólidos urbanos en la Ciudad de Azángaro”, 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.



Figura 14. *Ubicación del terreno para el relleno sanitario. Comunidad de Uray Jallapisi a 7 km de la ciudad de Azángaro*

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

Equipar adecuadamente el servicio de limpia 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 relleno sanitario 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 relleno sanitario en la ciudad de Azángaro es de un área de 20 230 m² para el relleno sanitario más 18 018,62 m² para los demás servicios de acuerdo al plano (fig. 15).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Diagnóstico sobre el manejo de los rsu en la ciudad de Azángaro.

4.1.1.1. Proyección de la población

Para determinar el tamaño de la planta de residuos sólidos para los siguientes años es necesario determinar la población para los siguientes años, aproximadamente para 10 años. Con el objetivo de conocer la cantidad de RSM diarios que genera la población de Azángaro y para calcular la vida útil del relleno es necesario conocer la cantidad de residuos en forma anual.

Para la proyección de la población se adoptó un crecimiento geométrico, para el cálculo se utilizó una tasa de crecimiento del 0,4 % anual (índice de crecimiento para la ciudad de Azángaro 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 $P_1 = 20\ 696$
- Segundo año $P_2 = 20\ 696 (1+0,004)^1 = 20\ 779$
- Tercer año $P_3 = 20\ 696 (1+0,004)^2 = 20\ 862$

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

Tabla 6. Proyección de la población de la Ciudad de Azángaro

N°	Año	Número de habitantes	Número de viviendas
1	2 020	20 696	1 159
2	2 021	20 779	1 163
3	2 022	20 862	1 167
4	2 023	21 029	1 171
5	2 024	21 113	1 175
6	2 025	21 198	1 179
7	2 026	21 282	1 183
8	2 027	21 368	1 187
9	2 028	21 453	1 191
10	2 029	21 539	1 195

Fuente: Elaboración propia

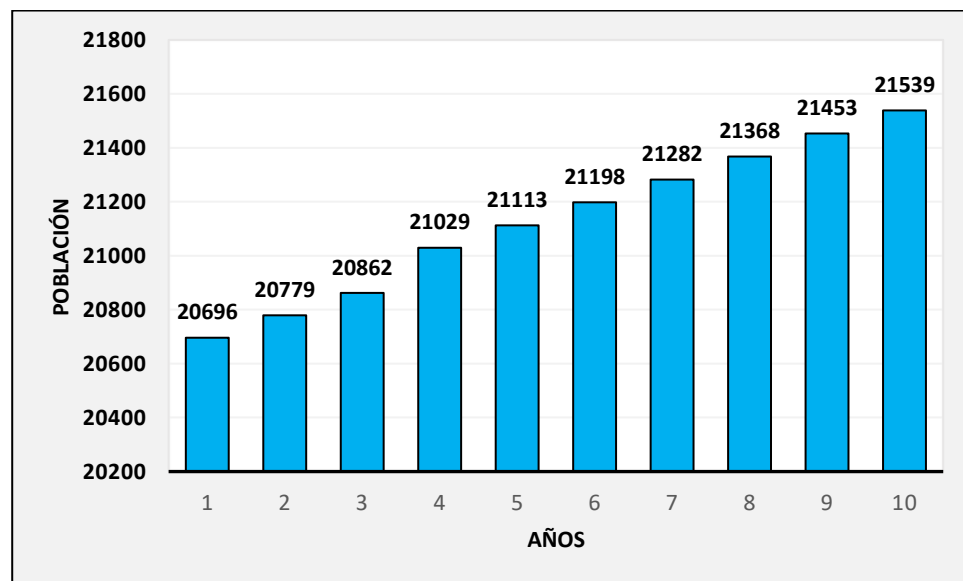


Figura 15. Proyección de la población de la ciudad de Azángaro

4.1.1.2. Generación de los residuos sólidos municipales

- 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 64 valores que corresponden a la

generación per cápita de cada vivienda participante. Cada valor se obtuvo de la siguiente manera.

Los componentes se van clasificando en bolsas o recipientes pequeños.

- Con ayuda de una balanza se deben pesar los componentes.
- Se calcula el porcentaje de cada componente teniendo en cuenta los datos del peso total de los residuos recolectados en un día (W_t) y el peso de cada componente (P_i): $\text{Porcentaje (\%)} = (P_i/W_t) \times 100$
- Para determinar el porcentaje promedio de cada componente, se efectúa un promedio simple, es decir sumando los porcentajes de todos los días de cada componente y dividiéndolo entre los siete días de la semana. (Ministerio del Ambiente (MINAM). 2012)

b) Estadísticos de muestra:

Para aprovechar los residuos domiciliarios que se producen en la zona, primero se ejecutó un muestreo entre 64 viviendas (tabla 7)

Tabla 7. *Generación per cápita de las "64" viviendas participantes*

Vivienda	kg /hab día	Vivienda	kg /hab día	Vivienda	kg /hab día	Vivienda	kg /hab día	Vivienda	kg /hab día
1	0,425	14	0,496	27	0,412	40	0,320	53	0,306
2	0,419	15	0,435	28	0,388	41	0,425	54	0,445
3	0,467	16	0,092	29	0,372	42	0,334	55	0,414
4	0,429	17	0,461	30	0,457	43	0,418	56	0,396
5	0,489	18	0,360	31	0,421	44	0,480	57	0,412
6	0,406	19	0,421	32	0,469	45	0,49	58	0,388
7	0,445	20	0,353	33	0,399	46	0,411	59	0,408
8	0,437	21	0,167	34	1,050	47	0,455	60	0,460
9	0,393	22	0,453	35	0,472	48	0,456	61	0,321
10	0,397	23	0,413	36	0,438	49	0,401	62	0,413
11	0,452	24	0,489	37	0,408	50	0,400	63	0,489
12	0,481	25	0,475	38	0,405	51	0,415	64	0,475
13	0,414	26	0,445	39	0,463	52	0,48		

Tabla 8. Estadísticos de muestra

Media \bar{X}	Desviación Estándar “S”	Varianza “S²”
0,425	0,3902	0,084

Fuente; Elaboración propia

La generación per cápita (PPC) de RSM de los habitantes de Azángaro es de 0,425 kg/hab-día, y para el año 2020 la población se estima en 20 696 habitantes (proyectado con datos del INEI, 2017), por lo que hoy en día se producen aproximadamente 8 795.8 kg de RSM diariamente.

Con estos datos se procedió a caracterizar los residuos sólidos municipales.

La ciudad de Azángaro genera residuos orgánicos e inorgánicos, cuya composición se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9. Generación de residuos sólidos de la Ciudad de Azángaro

Año	Población (hab)	PPC Kg/hab-día	CANTIDAD RESIDUOS SOLIDOS		
			Diaria Kg/día	Anual Ton	Acumulado Ton/año
	1	2	3	4	5
2020	20 696	0,425	8 795,8	3 210,46	3 210,46
2021	20 779	0,433	8 997,4	3 284,02	6 994,48
2022	20 862	0,446	9 304,6	3 396,12	10 390,60
2023	21 029	0,464	9 757,2	3 561,47	13 952,07
2024	21 113	0,488	10 303,7	3 760,59	17 712,66
2025	21 198	0,518	10 980,5	4 007,90	21 720,56
2026	21 282	0,555	11 811,3	4 311,20	26 031,76
2027	21 368	0,601	12 842,8	4 687,39	30 719,15
2028	21 453	0,657	14 094,7	5 144,54	35 863,69
2029	21 539	0,726	15 637,3	5 707,62	41 571,31

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Volumen de los residuos solidos

Tabla 10. *Generación del volumen de residuos sólidos de la Ciudad de Azángaro*

Año	VOLUMEN DE RESIDUOS SOLIDOS					
	Compactados			Relleno sanitario		
	Diario	m.c.	Anual	m.c.	(DS+ m.c.)	Acumulado
	m ³	m ³ /día	m ³	m ³ /año	Anual (m ³ /año)	m ³
	6	7	8	9	10	11
2020	15,74	3,15	5 741,10	1 149,75	6 890,85	6 890,85
2021	16,10	3,22	5 876,50	1 175,30	7 051,80	13 942,65
2022	16,81	3,36	6 135,65	1 226,40	7 362,05	21 304,70
2023	17,46	3,49	6 373,90	1 273,85	7 647,75	28 952,45
2024	18,43	3,68	6 726,95	1 343,2	8 070,15	37 022,60
2025	19,65	3,93	7 172,25	1 434,45	8 606,70	45 629,30
2026	21,14	4,23	7 716,10	1 543,95	9 260,05	54 889,35
2027	23,01	4,60	8 398,65	1 679,00	10 077,65	64 967,00
2028	25,22	5,04	9 205,30	1 839,60	11 044,90	76 011,90
2029	27,98	5,59	10 212,70	2 040,35	12 253,05	88 264,95

Fuente: Elaboración propia

NOTA: El volumen indicado en la columna 11, es la acumulación año a año, es decir el 2020 se genera 5890,85 m³, el 2021 genera 7 051,80 y sumados nos da la cantidad de 13 942,65 que es el acumulado y así sucesivamente para los demás años.

NOTA: Formulas para los cálculos según columnas

6. Volumen de los residuos sólidos

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \rho = \frac{8795,8}{15,74 \text{ m}^3} = 558,81 \quad V = \frac{m}{\rho} \quad v = \frac{8795,8 \text{ kg}}{558,81 \text{ m}^3} = 15.74$$



7. Material de cobertura (m.c.)

Columna 6 x 20 %

10. Volumen relleno sanitario

Columna 8 + columna 9

4.1.1.4. Cálculo del área requerida

El área que ocupan estos residuos sólidos es de 2 986,03 m² para el primer año y para los próximos 10 años es de 38 248,62 m², se observan estos datos en la tabla 11.

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 9 podremos estimar las necesidades de área así

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

V_{RS} = Volumen de los residuos sólidos

h = Altura o profundidad del relleno sanitario

Se asume una profundidad promedio de tres metros por ser una ciudad con poca población, las necesidades de área son:

El primer año

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} = \frac{6\,890,85\text{m}^3}{3\text{ m}} = 2\,296,95\text{m}^2 = 2,29\text{ ha}$$

CALCULO DEL AREA TOTAL

Teniendo en cuenta un factor de aumento F para las áreas adicionales, se asume un 30 %, tenemos:

$$A_T = F + A_{RS} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$F = 2\,296,95 \times 30\% = 689,08 \text{ (se reemplaza este valor en la ecuación y se tiene:)}$$

$$\text{Para el primer año: } A_T = 689,08 + 2\,296,95 = 2\,986,03 \text{ m}^2$$

Tabla 11. Área requerida

Años	AREA REQUERIDA			
	Relleno sanitario m ²	Valor de F m ²	Área total m ²	Área total acumulada m ²
	12	13	14	
2020	2 296,95	689,08	2 986,03	2 986,03
2021	2 350,60	705,18	3 055,78	6 041,81
2022	2 454,02	736,21	3 190,22	9 232,03
2023	2 549,25	764,77	3 314,02	12 546,05
2024	2 690,05	807,01	3 497,06	16 043,62
2025	2 868,90	860,67	3 729,57	19 773,19
2026	3 086,68	926,00	4 012,68	23 785,87
2027	3 359,22	1 007,76	4 366,98	28 152,85
2028	3 681,63	1 104,49	4 786,12	32 938,97
2029	4 084,35	1 225,30	5 309,65	38 248,62

Fuente: Elaboración propia

NOTA: Formulas para los cálculos según columnas (Área requerida)

12. Relleno sanitario m²

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h} = \frac{6\,890,85\text{m}^3}{3\text{ m}} = 2\,296,95\text{m}^2$$

13. Valor de F

$$F = 2\,296,95 \times 30\% = 689,08$$



14. Área total

$$A_T = \text{Columna 12} + \text{columna 13}$$

$$A_T = 689,08 + 2296,95 = 2\,986,03 \text{ m}^2$$

4.1.1.5. 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 (5):

$$M = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

M = Contenido de humedad en porcentaje

w = Peso inicial de la muestra

d = Peso de la muestra después de secarse

El contenido de humedad de los residuos sólidos emplazados en el relleno sanitario da 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 5, se tendrá que el contenido de humedad del residuo sólido, en la tabla 12 se muestra la estimación del peso seco a obtener.

Tabla 12. Contenido de humedad

Componentes	RSM	Contenido	Peso
	Total	de Humedad	Seco
	kg/día	(%)	kg/día
ORGANICOS			
Residuos de Comida	2 342,56	70	702,76
Papel	894,42	6	840,75
Cartón	1 342,41	5	1 275,28
Plásticos	566,9	2	438,26
Textiles	496,9	10	447,21
Madera	498,14	60	199,25
INORGANICOS			
Vidrio	586,98	2	575,24
Latas de hojalata	426,59	3	413,79
Aluminio	49,82	2	48,82
Otros Metales	347,83	3	337,39
Suciedad, cenizas, etc	1 292,94	8	1 189,50
Total	8 795,8		6 468,25

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Composición de los residuos sólidos generados, cantidad de gas y lixiviados que se producirán en la ciudad de Azángaro

Se determinó un peso húmedo de 8 795,80 kg/día, peso seco de 6 468,25 kg/día, densidad de 558,81 kg/m³ y un volumen de 6 890,85 m³ para el primer año de funcionamiento siendo la selección cuantificada de subproductos de la siguiente manera: residuos de comida 702,76 kg/día, Papel 840,75 kg/día, Cartón 1 275,28 kg/día, Plásticos 438,26 kg/día, Textiles 447,21 kg/día, Madera 199,25 kg/día, Vidrio 575,24 kg/día, Latas de hojalata 413,79 kg/día, Aluminio 48,82 kg/día, Otros Metales 337,39 kg/día, Suciedad, cenizas 1 189,50 kg/día, y las propiedades químicas. (Tabla 13).

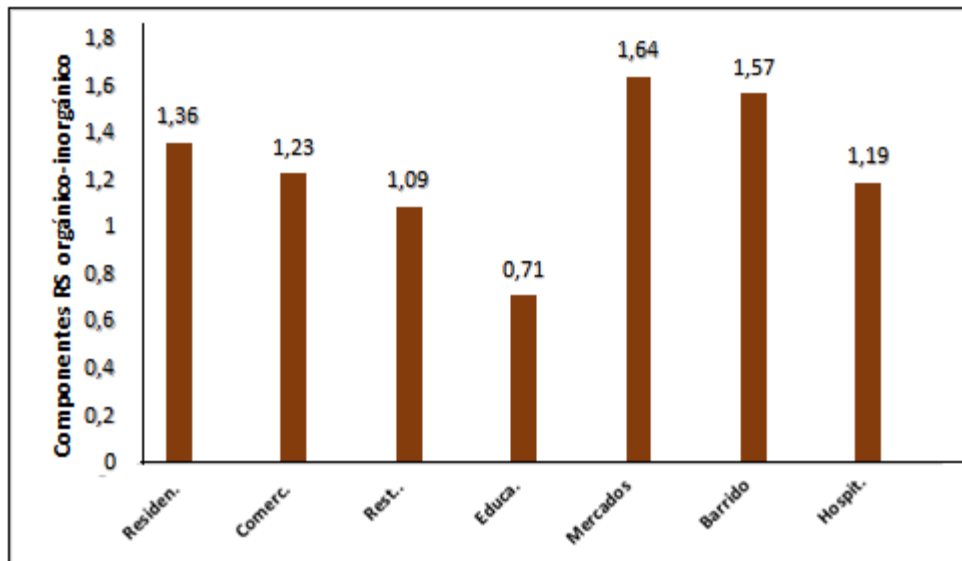


Figura 16. Composición de Residuos Sólidos de la ciudad de Azángaro

4.1.2.1. Composición de los residuos sólidos

Tomando como base la composición elemental de los residuos sólidos de la ciudad de Azángaro, 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 sin azufre

Sin agua $C_{20}H_{31}O_{10}N$ (para cálculo en base seca)

$$\begin{array}{l}
 C_{20}H_{31}O_{10}N \\
 \left. \begin{array}{l}
 \phantom{C_{20}H_{31}O_{10}N} \\
 \phantom{C_{20}H_{31}O_{10}N} \\
 \phantom{C_{20}H_{31}O_{10}N} \\
 \phantom{C_{20}H_{31}O_{10}N}
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 14 \times 1 = 14 \\
 16 \times 10 = 160 \\
 1 \times 31 = 31 \\
 12 \times 20 = 240
 \end{array} \\
 \hline
 445
 \end{array}$$

Se efectúan los cálculos con los datos de la tabla 12 peso seco kg/día, para determinar cada componente de los residuos sólidos que se muestran en la tabla 13

- Para el carbono en los residuos de comida

$$445 \text{ kg} \text{ ----- } 240 \text{ kg de C}$$

$$702,76 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{702,76 * 240}{445} = 379,02 \text{ kg de C}$$

- Para el hidrogeno en el cartón

$$445 \text{ kg} \text{ ----- } 31 \text{ kg}$$

$$1\ 275,28 \text{ kg} \text{ ----- } X$$

$$X = \frac{1275,28 * 31}{445} = 88,83 \text{ kg}$$

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

Tabla 13. *Composición química en base seca*

COMPONENTES	Peso	Peso	Composición kg			
	Húmedo kg/día	Seco kg/día	C	H	O	N
ORGANICOS						
Residuos de Comida	2 342,56	702,76	379,02	48,95	252,67	22,10
Cartón	1 342,41	1 275,28	687,79	88,83	458,52	40,12
Papel	894,42	840,75	458,26	59,19	305,51	26,73
Plásticos	566,9	438,26	236,36	30,53	157,57	13,78
Textiles	496,9	447,21	241,19	31,15	160,79	14,07
Madera	498,14	199,25	107,46	13,88	71,64	6,27
Sub total	6 141,33	3 903,51	2 110,08	272,53	1 406,70	123,07
INORGANICOS						
Vidrio	586,98	575,24	310,24	40,07	206,82	18,09
Latas de hojalata	426,59	413,79	223,16	28,82	148,78	7,60
Aluminio	49,82	48,82	26,33	3,40	17,55	1,54
Otros Metales	347,83	337,39	181,96	23,50	121,31	10,61
Suciedad, cenizas, etc.	1 292,94	1 189,50	641,52	82,86	427,68	37,42
Sub total	2 654,47	2 564,74	1 383,21	178,65	922,14	75,26
Total	8 795,60	6 468,25	3 493,29	451,18	2 328,84	198,33

Fuente: Elaboración propia

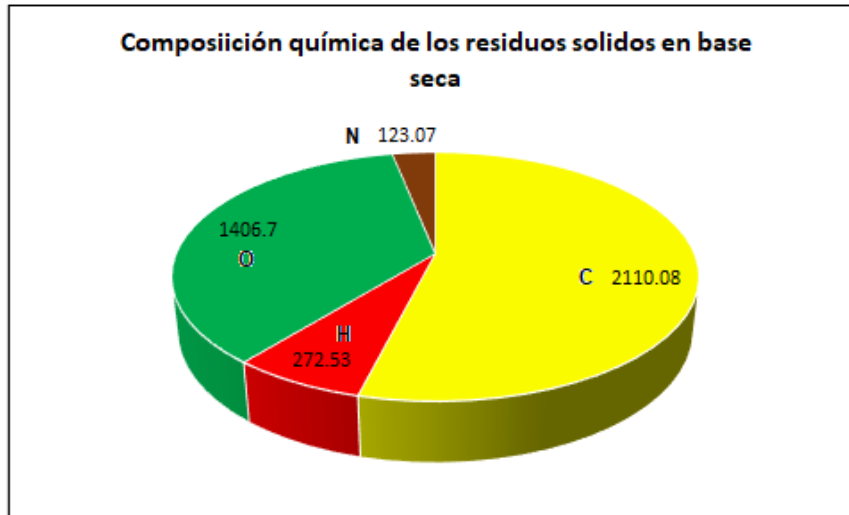


Figura 17. *Composición química de los residuos sólidos en base seca*

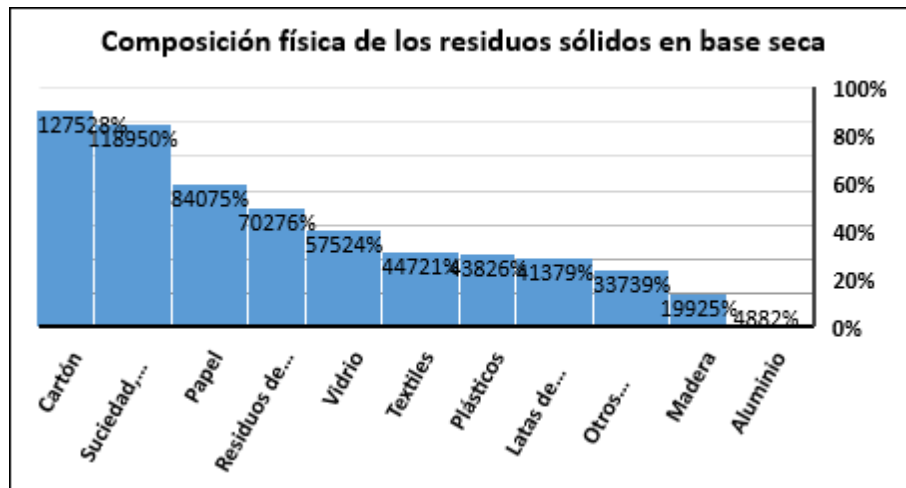


Figura 18. *Composición física de los residuos sólidos en base seca*

Se calcula la composición molar de los elementos lentamente y rápidamente descomponibles, para determinar las fórmulas químicas sin azufre, se utiliza la tabla 13.

Para los cálculos de la composición molar se utiliza la siguiente fórmula:

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

Dónde:

n = número de moles

m = masa en g

P.M. = peso molecular

Tabla 14. Componentes de los RSM, rápida y lentamente descomponibles

COMPONENTES	Peso Seco kg/día	Composición kg			
		C	H	O	N
Rápidamente descomponible					
Residuos de Comida	702,76	379,02	48,95	252,67	22,10
Cartón	1 275,28	687,79	88,83	458,52	40,12
Papel	840,75	458,26	59,19	305,51	26,73
Total	2 818,79	1 525,07	196,97	1 016,70	88,95
Lentamente descomponible					
Plásticos	438,26	236,36	30,53	157,57	13,78
Textiles	447,21	241,19	31,15	160,79	14,07
Madera	199,25	107,46	13,88	71,64	6,27
Total	1 084,72	585,01	75,56	390,00	34,12

Fuente: Elaboración propia

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

$$n = \frac{1\,525,07 \text{ kg}}{12,01 \text{ kg/mol}} = 126,98 \text{ mol}$$

2. Se continúa con el cálculo de la composición molar de los demás elementos, los cuales que se detallan en la tabla 15.

Tabla 15. Composición molar de los elementos

	C	H	O	N
g/mol	12,01	1,01	16	14,01
Rápidamente descomponible	126,98	195,02	63,54	6,35
Lentamente descomponible	48,71	74,81	24,37	2,43

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos de la fracción orgánica son importantes, con los datos hallados en dichas tablas se calcularon las fórmulas empíricas de los residuos sólidos generados en la ciudad de Azángaro, de igual manera se calcularon las cantidades de gas que éstos generaran. (Tabla 16)

Cálculos para determinar las fórmulas químicas, con los datos de la tabla 15:

Para el carbono tenemos:

$$C = \frac{\text{Peso del carbono} \left(\frac{g}{mol}\right)}{\text{Peso del nitrógeno} \left(\frac{g}{mol}\right)} = \frac{126,98}{6,35} = 20$$

Para los demás componentes se realiza utilizando la misma fórmula, cuyos cálculos se detallan en la tabla 16.

Tabla 16. Cálculos para determinar las relaciones normalizadas

Componente	Relación mol (nitrógeno =1)	
	Rápidamente descomponible	Lentamente descomponible
Carbono	20	20
Hidrogeno	31	31
Oxígeno	10	10
Nitrógeno	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia



3. Las fórmulas químicas a utilizar son:

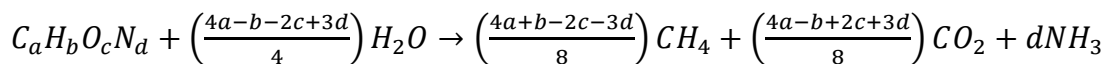
Rápidamente descomponible $C_{20}H_{31}O_{10}N$

Lentamente descomponible $C_{20}H_{30}O_{10}N$

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

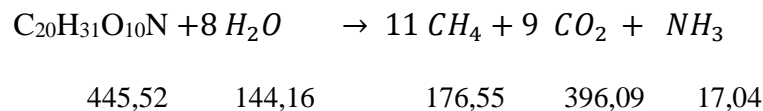
Un relleno sanitario de residuos sólidos es como un reactor bioquímico, con residuos y agua como entradas principales, y con gases del relleno sanitario y lixiviado como principales salidas (Tchobanoglous, 1975).

La fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$, permite determinar el volumen de los gases emitidos durante la descomposición anaerobia, se estimó el volumen total del gas utilizando la siguiente ecuación, suponiendo la conversión completa de los residuos orgánicos biodegradables en CO_2 y CH_4 .



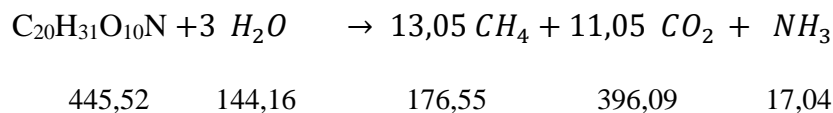
a) Cálculo rápidamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



b) Cálculo lentamente descomponible de los residuos sólidos

Para estos cálculos se utilizó la siguiente ecuación.



c) 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:

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

$$\text{CO}_2 = 1,978 \text{ kg/m}^3$$

d) Rápida descomponible de la materia orgánica

$$\text{Metano} = \frac{(176,55 \text{ kg})(2\,818,79 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 1\,557,91 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{(396,09 \text{ kg})(2\,818,79 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 3\,495,18 \text{ m}^3$$

e) Lentamente descomponible de la materia orgánica

$$\text{Metano} = \frac{(176,55 \text{ kg})(1\,084,72 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(0,717 \text{ kg/m}^3)} = 599,51 \text{ m}^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = \frac{((396,09 \text{ kg}))(1\,084,72 \text{ kg})}{(445,52 \text{ kg})(1,978 \text{ kg/m}^3)} = 487,55 \text{ m}^3$$

4.1.2.3. Composición y formación del control del lixiviado en el relleno sanitario

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 Azángaro 823,4 mm
- Área anual del relleno (Has): 2,98 = (2 986,03 m^2)
- Tipo de relleno en la ciudad de Azángaro: Relleno manual

Tabla 17. Producción de aguas lixiviadas en un relleno sanitario

Tipo de relleno	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 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 Azángaro 823,4 mm
- Área anual del relleno (Has): $2,98 = (2\ 986,03 \text{ m}^2)$
- Tipo de relleno en la ciudad de Azángaro: Relleno manual

Cálculo del lixiviado

Se multiplica la cantidad de lluvia (otorgado por el SENAMI) por el índice de la tabla 4 para un relleno manual, el resultado se multiplica por el área de relleno determinado y nos da la cantidad de lixiviado que generaría nuestro relleno sanitario, lo que se demuestra a continuación.

$$823,4 \text{ mm} \times 0,60 = 494,04 \text{ mm} = 0,494 \text{ m}$$

$$0,494 \text{ m} \times 2\ 986,03 \text{ m}^2 = 1\ 475,01 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$\text{Cantidad de lixiviado} = 1\ 475,01 \text{ m}^3/\text{año}$$

4.1.3. Diseño del relleno sanitario manual para la disposición final de los residuos sólidos en la ciudad de Azángaro

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 en el área no se convierta en un sitio pantanoso en el cual no sea posible trabajar.

A continuación, se muestra el diseño recomendado para una planta manual que es la que se recomienda para el caso del municipio de la ciudad de Azángaro.

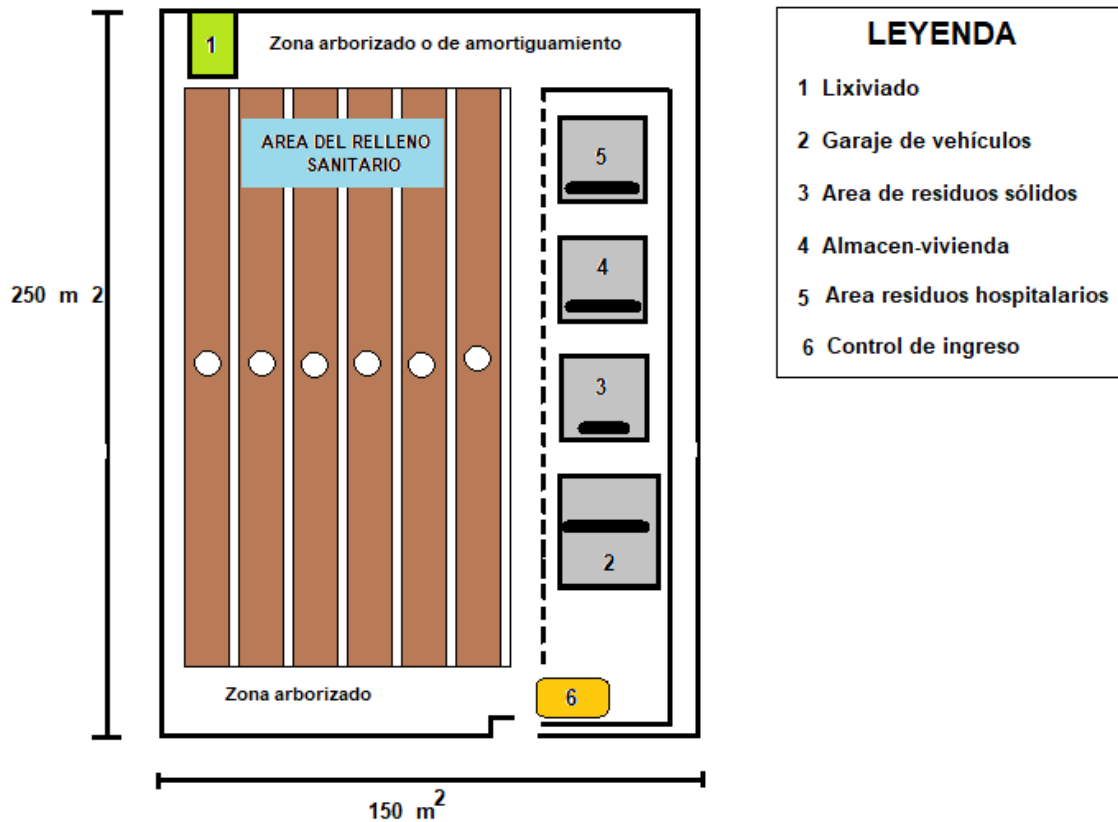


Figura 19. Planta de tratamiento de Residuos Sólidos, disposición final de los RSM

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 relleno sanitario, 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 38 248,62 m² para todas las áreas indicadas.

El primer paso en la planeación de un relleno sanitario 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 relleno sanitario en la comunidad de Uray Jallapisi a 7 km de la ciudad de Azángaro del Distrito de Azángaro.



Figura 20. *Ubicación del relleno sanitario*



DISCUSIÓN

El resultado obtenido en nuestro estudio respecto a la cantidad de residuos sólidos domiciliarios es de 6 468,25 kg/día lo cual difiere de lo obtenido en la investigación de Sangama realizada en el distrito de Caynarachi, Lamas ya que la generación de Residuos Sólidos Domiciliarios fue de 0,178 ton/día, Por otro lado en lo que respecta a la densidad de los Residuos Sólidos domiciliarios para el distrito de Azángaro es de 558,81 kg/m³, mientras que para el distrito de Caynarachi fue de 215 kg/m³.

La PPC del distrito de Kelluyo es de 0,170 kg/hab/día, según los estudios de Caljaro, lo cual difiere con nuestro trabajo, resultado encontrado en el distrito de Azángaro, es de $0,425 \frac{kg}{hab} \cdot día$. Esto se debe principalmente a que la población en Kelluyo es de 2040 habitantes aproximadamente mientras que la población del Distrito de Azángaro es de 20 696 habitantes. Así mismo la generación total de residuos sólidos domiciliarios en Azángaro es de 6 468,25 kg/día mientras que para Kelluyo es de 0,952 Ton/día. Por otro lado, respecto a la composición de los residuos sólidos en ambos estudios los residuos orgánicos representan el mayor porcentaje del total de residuos siendo de 49% para Kelluyo y de 55,9% para Azángaro

Según el estudio realizado por Causa en el Distrito de Cairani, Provincia de Candarave, el relleno sanitario manual se diseñó para un periodo de diez años para lo cual se proyectó un área de 3044,95 m², a diferencia de nuestro estudio el relleno sanitario manual se proyectó para un periodo de diez años según lo recomendado por la Guía de Diseño de Relleno Sanitario Manual del MINAM para lo cual se proyectó un área total 38 248,62 m².

V. CONCLUSIONES

- En la primera etapa del estudio de cuantificación de la generación y caracterización de los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Azángaro, se determinó peso húmedo de 8 795,80 kg/día, peso seco de 6468,25 kg/día, densidad de 558,81 kg/m³ y un volumen de 6890,85 m³ para el primer año de funcionamiento, siendo la selección cuantificada de subproductos de la siguiente manera: residuos de comida 702,76 kg/día, papel 840,75 kg/día, cartón 1275,28 kg/día, plásticos 438,26 kg/día, textiles 447,21 kg/día, madera 199,25 kg/día, vidrio 575,24 kg/día, latas de hojalata 413,79 kg/día, aluminio 48,82 kg/día, otros metales 337,39 kg/día, suciedad, cenizas 1 189,50 kg/día.

- La cantidad de gas que se genera de la descomposición de los constituyentes orgánicos se estimó con la fórmula generalizada $C_aH_bO_cN_d$

- Rápidamente descomponible

$$\text{Metano} = 1\,557,91\,m^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 3\,495,18\,m^3$$

- Lentamente descomponible

$$\text{Metano} = 599,51\,m^3$$

$$\text{Dióxido de carbono} = 487,55\,m^3$$

El presente trabajo de investigación ha determinado que la cantidad de lixiviados que generarían los residuos sólidos urbanos de la ciudad de Azángaro sería de 1 475,01 m³/año.

- El relleno sanitario tendrá un área de 2 986,03 m² para el primer año de funcionamiento y la proyección para 10 años es de 38 248,62 m² y estará ubicada



en la Provincia de Azángaro, Distrito de Azángaro, Comunidad de Uray Jallapisi
a 7 km de la ciudad de Azángaro.



VI. RECOMENDACIONES

- Al momento de sensibilizar al participante tener un trato amable y expresarse de manera clara, para lograr un mejor entendimiento, y así lograr su correcta participación durante los 7 días de caracterización de los RS.
- El personal de apoyo en entrega y recojo de las bolsas, entre otras actividades. Debe tener presente los riesgos y peligros que esto involucra en tiempos de pandemia del COVID - 19, para ello debe contar con la debida protección facial y uso de EPPs, por estar en contacto directo con los participantes. Y otros factores como estar expuestos a mordida de canes o factores climáticos como la radiación solar, lluvias y vientos.
- La caracterización de los residuos sólidos en Azángaro. Son importantes para la realización de una propuesta de Plan de Manejo, con ello se podrá determinar la buena disposición de la ciudadanía a participar en programas en pro del medio ambiente, las personas participantes en las pruebas demostraran la capacidad de segregar correctamente los residuos.
- Se recomienda a las autoridades de la ciudad de Azángaro a organizarse y planificar actividades para el manejo adecuado de residuos sólidos, a través de charlas de sensibilización a las personas que se encargan de la limpieza pública y recojo de los residuos, debido que no se cuenta con un adecuado servicio dando.
- Luego de realizar la investigación sugerimos a las autoridades de la ciudad de Azángaro organizarse y planificar actividades para el manejo adecuado de residuos sólidos, debido a que el inadecuado manejo de residuos genera contaminación del medio ambiente.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anand, U., Li, X., Sunita, K., Lokhandwala, S., Gautam, P., Suresh, S., Sarma, H., Vellingiri, B., Dey, A., Bontempi, E., & Jiang, G. (2022). SARS-CoV-2 y otros patógenos en aguas residuales municipales, lixiviados de vertederos y desechos sólidos: una revisión sobre la vigilancia, la infectividad y la inactivación del virus. *Environmental Research*, 203(August 2021), 111839. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111839>
- Ayala, C. H. (2010). Guía de Manejo de Relleno Sanitario Manual. (*Guía*). Servicios gráficos, Lima.
- Brown S., U. G. (s.f.). Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales. *Guía*. AIDIS.CARE El Salvador. PROARCA/SIGMA, El Salvador.
- Brown, S. U. (2003). Diagnostico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali, México: Retos para el Logro de una Planeación Sustentable. (*Guía de manejo de residuos*). AIDIS-CARE, El Salvador.
- Caljaro, E. (2014). Diagnostico actual y propuesta de manejo de residuos sólidos en el Distrito de Kelluyo. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Calva, A. (2014). Diagnostico de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en el Municipio de Mexicali. (*Tesis Maestría*). Universidad Autonoma de Baja California, México.
- Cantanhede A, M. C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. (*Trabajo de investigación*). CEPIS-OPS/OMS, Colombia.
- Castrillon Q, P. E. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. (*Tesis de pregrado*). Ingenieria Agricola, Caldas-Antioquia.
- Causa, Y. (2019). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales y propuesta de diseño de relleno sanitario manual para el ditrito de Cairani. (*Teis de pre grado*). Universidad de Tacna, Tacna.
- CONAM. (2014). Guía Técnica para la Clausura o Conversión De Botaderos. (*Guía*). Consejo Nacional del Ambuyente, Lima.



- Diaz Benavides L y Vallejo Valles Anfreá. (2017). Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el Municipio de Aguachica-Cesar. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Bogotá, Colombia.
- DIGESA. (1988). Análisis sectorial de los residuos sólidos en el Perú. (*Guía*). Ministerio de Salud, Lima.
- Equizábal, B. (2009). Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. (*Guía*). Ministerio del Ambiente, Lima.
- Fernández, S. (2010). Diseño y factibilidad de relleno sanitario manual para el Municipio de la Libertad. (*Tesis de pregrado*). Universidad del Salvador, El Salvador.
- INEI. (2007). CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN y VIVIENDA. (*Censo Nacional*). Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima.
- INGEMMET. (2000). Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (*Guía*). Ministerio de Energía y Minas, Lima.
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. (*Guía-texto*). Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Washington.
- Mamani, E. (2017). Potencial de recuperación de residuos sólidos urbanos del Distrito de Huancané. (*Tesis de Licenciatura*). UNA-PUNO, Puno.
- Masias L, P. B. (2017). Gestión integral de residuos sólidos urbanos desde la perspectiva territorial en el Estado de Hidalgo y sus municipios. (*Tesis de Maestría*). Universidad de México, México.
- Masias L, P. B. (2018). Potencial de recuperación de residuos sólidos domiciliarios urbanos del Distrito de Huancané. (*Tesis de Licenciatura*). UNA-PUNO, Puno.
- Medina, J. (2001). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. (*Trabajo de investigación*). Guía para el manejo de residuos sólidos, México.
- MINAM. (2015). Guía metodológica para la elaboración del estudio de caracterización para residuos sólidos municipales. (*Guía*). Ministerio del Ambiente, Lima.
- OPS. (2003). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales de América Latina. (*Guía*). Organización Panamericana de la Salud, Washington.
- Palma G, E. A. (2004). Análisis de estabilidad de rellenos sanitarios. (*Tesis de pregrado*). Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- Pettigiani E, M. A. (2012). Caracterización de residuos sólidos urbanos domiciliarios en Unquillo. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Propp, V. R., De Silva, A. O., Spencer, C., Brown, S. J., Catingan, S. D., Smith, J. E., &



- Roy, J. W. (2021). Contaminantes orgánicos de preocupación emergente en lixiviados de vertederos municipales históricos. *Environmental Pollution*, 276, 116474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116474>
- Roben, E. (2002). Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. (*Guía*). Municipio de Loja, Loja..
- Sanchez J, R. G. (2013). Gestión integral de residuos solidos urbanos en el municipio de Sela-Santiago del Estero. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Santiago del Estero, Estero-Argentina.
- Sangama, R. (2017). Caracterización de residuos sólidos municipales del Distrito de caynarachi. (*Tesis de pregrado*). Universidad Peruana Unión, Lamas- San Martín.
- Singh, E., Kumar, A., Mishra, R., & Kumar, S. (2022). Gestión de residuos sólidos durante la pandemia de COVID-19: Técnicas de recuperación y respuestas. *Chemosphere*, 288(P1), 132451. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132451>
- Social-Técnica, S. A. (1998). Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. (*Guía para cálculos de lixiviados*). Municipalidad de Loja, Loja.
- Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. España: McGraw-Hill.
- Umaña, G. (2002). XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. *Método de evaluación y selección de siitios para relleno sanitario.*, (pág. 12). Cancun-México.
- Ugwu, C. O., Ozoegwu, C. G., Ozor, P. A., Agwu, N., & Mbohwa, C. (2021). Estrategias de reducción y utilización de desechos para mejorar la gestión de desechos sólidos municipales en los campus de Nigeria. *Fuel Communications*, 9, 100025. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.100025>
- Wang, Y., Lu, X., & Fei, X. (2021). Cambios de propiedad de los residuos plásticos convencionales mezclados con residuos sólidos municipales después de experimentos de degradación de 10 años que simulan las condiciones de los vertederos. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2, 100047. <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100047>
- Zapata, Z. (2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. (*Guía y método sobre rellenos sanitarios*). Revista Gestión y Ambiente, Medellín.



ANEXOS

ANEXO A.1

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. (1994) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”



ANEXO A.2

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. (1994) “Gestión Integral de Residuos Sólidos”



ANEXO A.3 MARCO LEGAL

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:

- 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.
- CONSTRUCCION,

- 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 A.4

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES INTEGRALES DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS- GUÍA PIGARS 2009

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	4
ANTES DE LEER LA GUÍA PIGARS ¿QUÉ ENCONTRARÁ EN ESTA GUÍA? ¿A QUIÉN ESTÁ DIRIGIDA ESTA GUÍA?	6
¿QUÉ ES EL PIGARS?	6
¿POR QUÉ HACER UN PIGARS?	6
¿QUIÉNES DEBEN HACER UN PIGARS? ¿CÓMO SE DEBE LEER ESTA GUÍA?	7
DEFINICIONES	7
ABREVIACIONES:	10
PASO 1: ORGANIZACIÓN LOCAL PARA EL DESARROLLO DE UN PIGARS	12
1.1 Identificación de actores y planeamiento del PIGARS	13
1.2 Conformación del Comité Local de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos (COGARS)	13
1.3 Elaboración del plan de trabajo	15
1.4 Conformación del Grupo Técnico local.	16
PASO 2: EL DIAGNÓSTICO PARTICIPATIVO	18
2.1. Descripción del área de estudio	18
2.1.1 Información básica del área de estudio	19
2.1.2 Contexto social 2.2. Aspectos técnicos operativos	22
2.3. Aspectos gerenciales, administrativos y financieros	27
PASO 3: ESTABLECIMIENTO DE LOS OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PIGARS	30
3.1 Identificación del área geográfica y período de planeamiento	30
3.2 Selección de los tipos de residuos que se considerarán en el PIGARS	31
3.3 Definición del nivel del servicio y objetivos que se desean alcanzar	31
PASO 4: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	34
4.1 Alternativas en los aspectos gerenciales, administrativos y financieros	34
4.2 Alternativas en los aspectos técnico-operativos	39
4.3 Reforzamiento del modelo de gestión financiera	46
PASO 5: PREPARACIÓN DE LA ESTRATEGIA 5.1 Introducción	51
5.2 Formulación de la estrategia	51



PASO 6: FORMULACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN DEL PIGARS	53
6.2 Introducción	53
6.3 El plan de acción PASO 7: EJECUCIÓN Y MONITOREO DEL PIGARS	53
7.1 Introducción	56
7.2 Pasos para poner en marcha el plan de acción	56
7.3 Pasos para monitorear y evaluar el plan de acción	57
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXO 1. MODELO DE PLAN DE TRABAJO PARA LA FORMULACIÓN DEL PIGARS	62
ANEXO 2. MODELO DE REGLAMENTO DE UN COMITÉ LOCAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS	68
ANEXO 3. MODELO DE DECRETO DE ALCALDÍA DE CREACIÓN DEL COGARS	71
ANEXO 4. MÉTODO PARA CARACTERIZAR LOS RESIDUOS SÓLIDOS	77
ANEXO 5. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MERCADO DE RESIDUOS DE UNA LOCALIDAD	84
ANEXO 6. MODELO DE UN PIGARS	89
ANEXO 7. MODELOS DE ORDENANZA DE APROBACIÓN DEL PIGARS	93
ANEXO 8. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA PÚBLICA (BARRIDO, RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE)	97
ANEXO 9. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN PROGRAMA DE RECOLECCIÓN SELECTIVA Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS	100
ANEXO 10. CRITERIOS PARA ESTIMAR LOS COSTOS DE UN SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL	105
ANEXO 11. CRITERIOS PARA ESTIMAR UNA CAMPAÑA DE SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL	105
INTRODUCCIÓN	106
ANEXO 12. MÉTODO SENCILLO PARA LA PRIORIZACIÓN DE PROBLEMAS Y ELABORACIÓN DE OBJETIVOS	111
ANEXO 13. MODELO DE ENCUESTA PARA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS	116
ANEXO 14. INSTRUMENTOS DE APOYO DISPONIBLE	

ANEXO A.5

RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AZÁNGARO-PUNO



ANEXO A.6

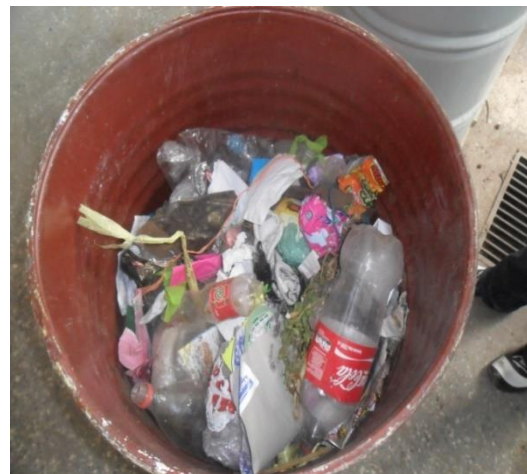
PROCESO DE SEGREGACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN AZÁNGARO



Segregación de los residuos sólidos



Segregación de los residuos sólidos



Cálculo del volumen de los residuos sólidos