

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO CON CAPTURA DE BIOGÁS PARA  
EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES  
EN EL DISTRITO LA COIPA - CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**XIMENA ZUCETTY CRUZ CABRERA**

**ASESOR**

**MARIA LUISA ESPINOZA GARCIA URRUTIA**

<https://orcid.org/0000-0002-7527-3834>

**Chiclayo, 2022**

**DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO CON CAPTURA DE  
BIOGÁS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS  
SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO LA COIPA -  
CAJAMARCA**

PRESENTADA POR:

**XIMENA ZUCETTY CRUZ CABRERA**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
Para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

Maria Raquel Maxe Malca  
PRESIDENTE

Diana Peche Cieza  
SECRETARIO

Maria Luisa Espinoza Garcia Urrutia  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios, por haberme dado vida y salud para cumplir con mis objetivos y llegar a hasta este momento.

A mis padres, por haberme dado su amor, comprensión, consejos y apoyo constante durante toda mi carrera universitaria. Por ser para mi ejemplo de esfuerzo, perseverancia y valentía para enfrentar las situaciones de la vida.

A mi hermana, por todo su cariño, sobre todo comprensión y apoyo, por estar pendiente de mí.

A mis tías, por siempre mostrarse dispuestas a ayudar.

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, por ser la institución que se ha preocupado por mi formación profesional, tanto en conocimientos como en valores, permitiéndome desarrollarme como persona.

Agradezco especialmente a mi asesora de tesis, la Ingeniera María Luis Espinoza García Urrutia, quien siempre me apoyo para realización del presente proyecto de investigación, por siempre incentivar me en cada paso de esta travesía.

Agradezco también a todos los ingenieros que me brindaron su asesoría y contribuyeron a la realización de la presente.

## Índice

Resumen .....	13
Abstract .....	14
I. Introducción .....	15
II. Marco Teórico .....	17
2.1. Antecedentes .....	17
2.2. Bases Teórico Científicas .....	23
1. Residuos Sólidos .....	23
2. Sistema de gestión integral de residuos sólidos municipales .....	23
3. Disposición final de residuos sólidos municipales .....	24
4. Relleno Sanitario .....	24
5. Diseño del Relleno Sanitario .....	27
6. Biogás .....	39
2.3. Definición de términos básicos: .....	42
III. Resultados .....	43
3.1. Diagnóstico de la Situación Actual de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales en el Distrito La Coipa .....	43
3.1.1. Distrito La Coipa .....	43
3.1.2. Situación Actual del Manejo de Residuos Sólidos Municipales .....	45
3.1.3. Caracterización de los Residuos Sólidos Municipales del Distrito La Coipa .....	51
3.2. Demanda Energética del Distrito La Coipa .....	57
3.2.1. Diseño del instrumento de medición .....	57
3.2.2. Determinación de la muestra y procedimiento de muestreo para la aplicación de la encuesta .....	57
3.2.3. Análisis de los resultados del instrumento de medición .....	60
3.2.4. Demanda energética en las Instituciones Públicas en el Distrito La Coipa .....	63
3.3. Diseño del Relleno Sanitario con Captura de Biogás .....	70
3.3.1. Selección del Área .....	71
3.3.2. Método constructivo del Relleno Sanitario .....	76
3.3.3. Cálculo del área operativa .....	76
3.3.4. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario .....	79
3.3.5. Cálculo del área administrativa .....	82
3.3.6. Sistema de drenaje y almacenamiento de lixiviados .....	85
3.3.7. Generación de biogás y sus componentes .....	87
3.3.8. Drenes de captación de biogás .....	89

3.3.9. Potencial energético de captura de biogás .....	91
3.3.10. Tratamiento de biogás .....	94
3.3.11. Generación de energía eléctrica.....	97
3.3.12. Recurso humano para el relleno sanitario.....	102
3.3.13. Maquinaria para operaciones en el relleno sanitario .....	106
3.4. Realización del análisis costo – beneficio y ambiental de la propuesta del sistema de generación eléctrica a partir de la captura de biogás del diseño de un relleno sanitario .....	110
3.4.1. Contexto económico de la generación de electricidad a partir de biogás y el manejo de residuos sólidos municipales por entidades públicas .....	110
3.4.2. Inversiones .....	112
3.4.3. Financiamiento.....	115
3.4.4. Presupuesto de ingresos .....	116
3.4.5. Presupuesto de egresos .....	119
3.4.6. Costos Totales.....	121
3.4.7. Estado de ganancias y pérdidas.....	121
3.4.8. Flujo de caja.....	122
3.4.9. Evaluación económica financiera .....	122
3.4.10. Evaluación ambiental .....	123
IV. Conclusiones .....	125
V. Recomendaciones.....	126
VI. Referencias .....	127
VII. Anexos.....	131

## Lista de figuras

Figura N°1. Esquema del sistema de manejo de residuos sólidos municipales .....	24
Figura N°2. Método tipo trinchera .....	31
Figura N°3. Método del área .....	32
Figura N°4. Método combinado.....	32
Figura N°5. Parámetros para el cálculo del volumen de recepción .....	34
Figura N°6. Estructura para extracción de gases de rellenos sanitarios.....	36
Figura N°7. Diagrama para aprovechamiento de biogás para generación de energía eléctrica .....	41
Figura N°8. Esquema de generación eléctrica en un relleno sanitario.....	41
Figura N°9. Ubicación del Distrito La Coipa.....	43
Figura N°10. Crecimiento poblacional del año 2007 al año 2017 del Distrito La Coipa .	44
Figura N°11. Diagrama de bloques del manejo de residuos municipales.....	46
Figura N°12. Camión de basura desechando los residuos en el botadero.....	47
Figura N°13. Botadero a cielo abierto en el Distrito La Coipa.....	47
Figura N°14. Ubicación del botadero a cielo abierto del Distrito La Coipa.....	48
Figura N°15. Matriz de Leopold de Evaluación de Impactos Ambiental del Botadero Municipal del Distrito La Coipa .....	50
Figura N°16. Fuentes de generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios.....	53
Figura N° 17. Tipo de vivienda de los pobladores de la Municipalidad Distrital La Coipa.....	60
Figura N° 18. Tipo de vivienda de los pobladores distribuido por zona del Distrito La Coipa.....	61
Figura N°19. Contrate entre consumo y costo de energía eléctrica en La Coipa.....	62
Figura N°20. Uso de electricidad en viviendas con negocio en el Distrito La Coipa.....	63
Figura N°21. Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa Inicial de La Coipa durante el 2018 .....	65
Figura N°22. Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa César Vallejo en La Coipa durante el 2018 .....	66
Figura N°23. Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa José Martín Cuestas N°16471 en La Coipa durante el 2018 .....	67
Figura N°24. Consumo y costo de energía eléctrica del Centro de Salud de La Coipa durante el año 2018.....	68

Figura N°25. Consumo y costo de energía eléctrica de la Municipalidad del Distrito La Coipa durante el año 2018 .....	69
Figura N° 26. Vista de ubicación del Botadero Municipal del Distrito La Coipa .....	75
Figura N° 27. Distancia de zona urbana a Botadero Municipal del Distrito La Coipa.....	75
Figura N°28. Potencial de generación de gases de relleno sanitario en el Distrito La Coipa.....	91
Figura N° 29. Transformador seleccionado .....	99
Figura N° 30. Balance de materia y energía .....	100
Figura N°31. Organigrama del Relleno Sanitario La Coipa .....	106

## Lista de tablas

Tabla 1. Categorización de un botadero por su impacto .....	30
Tabla 2. Tipo de relleno sanitario por su capacidad e infraestructura.....	33
Tabla 3. Tipo de estructura de impermeabilización de la base .....	33
Tabla 4. Espesor de cobertura diaria por tipo de relleno sanitario .....	35
Tabla 5. Métodos de distribución para drenes de lixiviados .....	37
Tabla 6. Secciones típicas de acuerdo a intensidad de precipitación pluvial .....	38
Tabla 7. Secciones transversales mínimas y materiales para drenes verticales para captura de gas de relleno sanitario .....	39
Tabla 8. Distribución de drenes de captura de biogás en trincheras .....	39
Tabla 9. Población total por área urbana y rural, y género del Distrito La Coipa .....	44
Tabla 10. Distribución de viviendas en el Distrito La Coipa .....	49
Tabla 11. Presupuesto para realizar la recolección de residuos municipales anualmente en el Distrito La Coipa .....	51
Tabla 12. Composición de los residuos sólidos domiciliarios del Distrito La Coipa .....	52
Tabla 13. Generación de residuos no domiciliarios por tipo de actividad económica en el Distrito La Coipa.....	53
Tabla 14. Generación de los residuos sólidos no domiciliarios en el Distrito La Coipa ...	54
Tabla 15. Composición de residuos sólidos no domiciliarios en el Distrito La Coipa ....	54
Tabla 16. Composición de los residuos sólidos Municipales del Distrito La Coipa.....	55
Tabla 17. Proyección de Residuos Sólidos del Distrito La Coipa .....	56
Tabla 18. Tabla de resultados de muestra piloto .....	58
Tabla 19. Distribución para aplicación de encuestas en el Distrito La Coipa.....	59
Tabla 20. Determinación de k para la aplicación de encuestas en el Distrito La Coipa ...	59
Tabla 21. Consumo promedio mensual por hogar de acuerdo a zona de ubicación .....	62
Tabla 22. Usos de electricidad en el hogar.....	63
Tabla 23. Consumo de energía eléctrica en la Institución Educativa Inicial durante el año 2018.....	64
Tabla 24. Consumo de energía eléctrica en la Institución Educativa César Vallejo Mendoza durante el año 2018.....	65
Tabla 25. Consumo de energía eléctrica en la I.E.P.M. José Martín Cuesta N°16471 durante el año 2018.....	66

Tabla 26. Consumo de energía eléctrica en el Centro de Salud de La Coipa durante el año 2018.....	67
Tabla 27. Consumo de energía eléctrica en la Municipalidad Distrital La Coipa durante el año 2018.....	68
Tabla 28. Proyección de demanda energética de la zona urbana de La Coipa .....	70
Tabla 29. Áreas de la Municipalidad Distrital La Coipa.....	71
Tabla 30. Categorización del Botadero Municipal del Distrito La Coipa según la prioridad para su clausura.....	72
Tabla 31. Categorización del Botadero Municipal del Distrito La Coipa según su impacto ambiental.....	73
Tabla 32. Resultados de selección de área .....	74
Tabla 33. Volumen y área requerida para la construcción del relleno sanitario .....	77
Tabla 34. Dimensiones de trincheras del relleno sanitario.....	79
Tabla 35. Dimensiones de plataformas del relleno sanitario .....	79
Tabla 36. Diseño de celda diaria .....	81
Tabla 37. Distribución de áreas administrativas .....	82
Tabla 38. Demanda energética de área administrativa.....	83
Tabla 39. Caudal de lixiviados.....	85
Tabla 40. Diseño de pozas de lixiviados .....	86
Tabla 41. Tubos ranurados para captura de lixiviados.....	86
Tabla 42. Generación de biogás en el Relleno Sanitario de La Coipa .....	88
Tabla 43. Tubos ranurados para captura de biogás .....	89
Tabla 44. Potencial disponible y generación de electricidad a partir de biogás capturado.....	92
Tabla 45. Contraste entre demanda y producción de energía eléctrica.....	93
Tabla 46. Selección de método de purificación de biogás .....	95
Tabla 47. Matriz de enfrentamiento para selección de equipos .....	96
Tabla 48. Características técnicas de purificadores de biogás seleccionado.....	96
Tabla 49. Características de comparación para selección de equipo purificación del biogás .....	97
Tabla 50. Tipos de sistemas para generación eléctrica .....	97
Tabla 51. Características de comparación para selección de generador de energía.....	98
Tabla 52. Selección del generador eléctrico.....	98
Tabla 53. Especificaciones técnicas transformador de energía eléctrica .....	99

Tabla 54. Selección del grupo electrógeno .....	101
Tabla 55. Guerchet de máquinas para producción de energía eléctrica .....	102
Tabla 56. Requerimiento de mano de obra para operación de relleno sanitario .....	105
Tabla 57. Selección de camión de basura .....	107
Tabla 58. Selección de balanza electrónica.....	107
Tabla 59. Selección de compactador de residuos sólidos .....	108
Tabla 60. Selección de camión compactador manual de residuos sólidos.....	109
Tabla 61. Herramientas manuales .....	110
Tabla 62. Inversión fija .....	112
Tabla 63. Detalle de construcción del relleno sanitario .....	113
Tabla 64. Depreciación de la maquinaria.....	114
Tabla 65. Inversión intangible.....	114
Tabla 66. Inversión total fija .....	115
Tabla 67. Servicio de deuda préstamo 1 .....	115
Tabla 68. Servicio de deuda préstamo 2 .....	116
Tabla 69. Producción anual de ingresos.....	117
Tabla 70. Ingresos por producción por rubro (S/.).....	118
Tabla 71. Costo de materiales .....	119
Tabla 72. Costo de mano de obra.....	120
Tabla 73. Gastos administrativos .....	120
Tabla 74. Gastos financieros .....	120
Tabla 75. Costos totales .....	121
Tabla 76. Estado de ganancias y pérdidas.....	121
Tabla 77. Flujo de caja .....	122
Tabla 78. Ahorros municipales por implementación de un relleno sanitario.....	122
Tabla 79. Indicadores de evaluación económica financiera.....	123
Tabla 80. Indicador beneficio/costo .....	123

## **Lista de anexos**

Anexo 1. Categorización de un botadero por su prioridad de clausura.....	131
Anexo 2. Hoja de Campo 1 .....	133
Anexo 3. Hoja de Campo 2 .....	134
Anexo 4. Hoja de Campo 3 .....	135
Anexo 5. Hoja de Campo 4 .....	136
Anexo 6. Ficha de Registro sobre Demanda Energética en el Distrito La Coipa .....	137
Anexo 7. Validez de instrumento de investigación.....	138
Anexo 8. Potencial de abastecimiento de energía eléctrica por zonas .....	139

## Resumen

El desarrollo del país trae consigo un mayor consumismo por parte de las personas, a su vez este consumismo lleva a generar un incremento en desechos de todo tipo, los que llegan a parar en su mayoría a botaderos informales donde se ocasionan impactos ambientales que degradan el medio ambiente. Sin embargo, los residuos sólidos son una fuente de energía renovable, aunque actualmente esta es poco aprovechada en nuestro país. La presente investigación busca aprovechar los residuos sólidos municipales del Distrito La Coipa, ubicada en la provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca, para la generación de energía eléctrica y abastecer la demanda energética de la zona urbana a través del diseño de un relleno sanitario con captura de biogás. Para ello se realizó un diagnóstico a la actual gestión de residuos sólidos municipales, se determinó la demanda energética de la zona urbana del Distrito, se realizó un diseño de un relleno sanitario y finalmente se realizó la evaluación económica financiera de la propuesta. Actualmente existe un botadero municipal donde son dispuestos los residuos sólidos sin ningún tipo de control, el estudio de caracterización realizado por la municipalidad demuestra que estos residuos tienen un gran porcentaje de materia orgánica. La zona urbana llega a consumir 1 634 kWh en el año de mayor producción de energía. La propuesta permite demostrar que aprovechar el biogás de relleno sanitario llega a generar 596 kWh en el año pico de producción abasteciendo el 36% de la demanda energética. Así mismo la evaluación económica financiera nos revela que se trata de un proyecto social viable con un VAN de S/.781 255 reflejando un TIR de 12,15% siendo este mayor que el TMAR de 7,54%, y finalmente un beneficio costo de S/.1,10.

**Palabras clave:** relleno sanitario, residuos sólidos municipales, biogás, demanda energética.

### **Abstract**

The development of the country brings with it a greater consumerism on the part of the people, in turn this consumerism leads to an increase in waste of all kinds, which ends up mostly in informal dumps where environmental impacts are caused that degrade the environment. However, solid waste is a source of renewable energy, although it is currently little used in our country. This research seeks to take advantage of municipal solid waste from the La Coipa District, located in the province of San Ignacio, department of Cajamarca, for the generation of electricity and to supply the energy demand of the urban area through the design of a sanitary landfill with biogas capture. For this purpose, a diagnosis was made of the current municipal solid waste management, the energy demand of the urban area of the District was determined, a sanitary landfill was designed and finally the economic and financial evaluation of the proposal was made. Currently there is a municipal dump where solid waste is disposed of without any type of control. The characterization study carried out by the municipality shows that this waste has a high percentage of organic matter. The urban area consumes 1,634 kWh in the year of greatest energy production. The proposal shows that taking advantage of landfill biogas can generate 596 kWh in the peak year of production, supplying 36% of the energy demand. Likewise, the economic-financial evaluation reveals that it is a viable social project with a NPV of S/. 781,255, reflecting an IRR of 12.15%, which is higher than the ARR of 7.54%, and finally a benefit cost of S/. 1,10.

**Keywords:** sanitary landfill, municipal solid waste, biogas, energy demand.

## **I. Introducción**

El crecimiento demográfico, la urbanización y la transformación en los patrones de consumo han llevado inevitablemente al mayor uso de recursos y, a su vez, al incremento de producción de residuos. Al pasar los años se empiezan a percibir las consecuencias de estos cambios a nivel mundial, generando impactos ambientales negativos en factores como el aire, agua, suelo, salud humana y paisaje. En Perú cada día somos más habitantes, y como consecuencia la producción de residuos ha aumentado al mismo paso; la generación de residuos sólidos municipales según SINIA [1] al 2018 fue de 7 374 821,22 toneladas, de los cuales sólo el 49,5% son recogidos periódicamente y dispuestos finalmente en rellenos sanitarios.

Actualmente, uno de los principales obstáculos en el manejo de los residuos sólidos municipales en el país se encuentra en la escasez de lugares en condiciones aptas de acuerdo con las leyes y normativas para su disposición final. Según el Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos [2] al año 2015 se ha logrado contar con 11 rellenos sanitarios con todos los permisos y autorizaciones correspondientes, y 10 instalaciones para la disposición de residuos del ámbito no municipal a nivel nacional. Así mismo, al año 2017 SINIA [1] reportó que solo un 10,89% de municipios se encuentran con capacidad para una gestión integral de residuos sólidos municipales.

El manejo de los residuos sólidos es una de las tantas responsabilidades de las municipalidades, de acuerdo con el Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [3], en este se menciona que la segregación y almacenamiento de los residuos sólidos municipales son procesos que deben ser regulados por las municipalidades en la fuente de su jurisdicción. Así mismo, este servicio puede ser realizado directamente por la municipalidad o a través de una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO – RS). Además, existe la posibilidad de valorización de residuos sólidos municipales, la que debe ser priorizada frente a la disposición final de los mismos, esta actividad de igual manera puede ser realizada por la misma municipalidad o a través de una EO – RS.

Al norte del país se encuentra el distrito de La Coipa, uno de los siete que forman parte de la provincia de San Ignacio en el departamento de Cajamarca, este cuenta con una población estimada de 21 210 habitantes según el último censo realizado en el año 2017 [4], de los cuales 2 421 se encuentran en la zona urbana, y 18 789 están en la zona rural. Actualmente para el manejo de los residuos sólidos generados la municipalidad distrital cuenta con un Plan Anual

de Recojo de Inservibles [5], el cual contiene las principales actividades, así como el cronograma y el presupuesto. Cuentan además con un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales [6], en el que presentan su respectiva composición, en este se observa que predomina el material orgánico con 64,98%, además de residuos sanitarios 9,63%, de residuos inertes 4,55%, cartón 4,24%, bolsas plásticas 3,02%, latas 2,76% y plástico duro 2,61%.

Los residuos generados provienen de diferentes actividades de la zona como el comercio, restaurantes, instituciones educativas, boutiques, talleres mecánicos, peluquerías, cooperativas, panaderías, servicio técnico y ferreterías, además de los residuos generados por actividades de mantenimiento de áreas verdes y el barrido de calles. Todos los residuos recogidos por la municipalidad son finalmente dispuestos en un botadero a cielo abierto a quince minutos de la zona urbana del Distrito La Coipa, lugar que viene siendo utilizado hace doce años, generando diferentes gases de efecto invernadero, entre ellos se encuentra el metano, el cual es un recurso energético renovable hoy por hoy desperdiciado.

Los hogares de la zona urbana del Distrito La Coipa consumen mensualmente en promedio 50,76 kWh incurriendo en un gasto mensual promedio de S/.30,83, por otro lado, cuenta con instituciones públicas, tres instituciones educativas, pertenecientes a cada nivel de educación básica, un centro de salud y la municipalidad, así mismo dentro del récord de consumo de la municipalidad se encuentra incluido el consumo de energía del parque principal, por lo que esta última cuenta con el mayor consumo llegando a 1 657,3 kWh durante el mes de agosto, incurriendo en un gasto de S/.785,3.

Ante esta problemática se planteó la siguiente pregunta: ¿de qué forma se puede aprovechar los residuos sólidos municipales del Distrito La Coipa a través de un relleno sanitario con captura de biogás?

La presente investigación tiene por objetivo general proponer el aprovechamiento de los residuos sólidos municipales en el Distrito La Coipa a través del diseño de un relleno sanitario con captura de biogás para la generación de energía para la comunidad y como objetivos específicos: diagnosticar la situación actual de la gestión de los residuos sólidos del Distrito La Coipa, determinar la necesidad energética del Distrito La Coipa, diseñar el relleno sanitario con captura de biogás y finalmente realizar un análisis costo beneficio y ambiental de la propuesta.

Cada vez es mayor la preocupación por aprovechar los beneficios que trae consigo la gestión sostenible de los residuos, pues permiten ahorros públicos. Además, según el Informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [7] la falta de sistemas adecuados de gestión de residuos sólidos urbanos llega a costar entre cinco y diez veces más que otras inversiones, así mismo, cambiar estas medidas traen consigo reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, incidencia benéfica en el cambio climático, la creación de millones de empleos verdes y beneficios económicos para la población. Además, una gestión eficiente de residuos sólidos municipales puede ir de la mano con la valorización de estos para generar energía limpia y renovable, permitiendo disminuir el consumo de energía fósil no renovable. Así mismo, desde alrededor del año 2008 [8] el estado viene realizando esfuerzos para desarrollar subastas de energías renovables, considerando el potencial de las diferentes fuentes que permiten la obtención de energía eléctrica, regulándolo a través del COES (Comité de Operación Económica del Sistema) permitiéndoles competir en el mercado energético estableciendo como prioridad nacional la promoción de electricidad generada con Recursos Energéticos Renovables o RER.

## **II. Marco Teórico**

### **2.1. Antecedentes**

Hernández e Ibarra [9], en su investigación “*Estudio de Prefactibilidad de un Relleno Sanitario en Tepic – Nayarit*” tiene como objetivo determinar la viabilidad de construcción de un relleno sanitario en el lugar de disposición final que tienen los residuos sólidos urbanos (RSU) de la ciudad de Tepic; para ello iniciaron realizando un diagnóstico de las condiciones actuales del vertedero Iztete mediante un estudio de la caracterización física y química de los residuos que permitió establecer las bases para continuar con la evaluación y selección del sitio más adecuado para la construcción, esto llevo a plantear la propuesta de un diseño arquitectónico y una evaluación económica del proyecto. Dichos pasos serán parte de la presente investigación. Hernández e Ibarra determinaron que la generación típica máxima de RSU en Iztete asciende a 414,5 t/día y 1,09 kg/per-cápita, evidentemente es una ciudad con mayor población. La caracterización realizada evidencia que la materia orgánica aporta con 37,56% en la generación total de residuos, para ellos significa una necesidad urgente de tratarlos y darles un manejo sostenible. De acuerdo a estas características principales la delimitación del terreno se realizó mediante un GPS, de acuerdo a generación per cápita se calculó el área requerida, así mismo, la vida útil del relleno sanitario obteniendo diez años con hasta una prolongación de cinco años

más. El diseño arquitectónico de este estudio consiste en una sección para la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos y la sección del área para el Relleno Sanitario, comprendiendo  $2\,985\text{ m}^2$  y  $22\,243\text{ m}^2$  respectivamente. Por último, de acuerdo con la evaluación económica de los investigadores su inversión resultó en \$4 650 771, la obtención de ingresos a partir de la venta del material reutilizable bajo tratamiento resultó en \$7 096 278 con un incremento anual de 1%. Finalmente, el planteamiento de un nuevo relleno sanitario, con un diseño ingenieril, es altamente rentable y viable; además permite cumplir con la normatividad vigente, permitiendo al municipio de Tepic contrarrestar los problemas ambientales de su comunidad.

La investigación de Hernández e Ibarra sirvió de guía para formular la estructura a tener en cuenta en la presente propuesta, partiendo desde realizar un diagnóstico sobre el manejo actual de los residuos sólidos, selección del área, que finalmente va a demarcar el diseño del relleno sanitario con captura de biogás en el Distrito La Coipa.

Madrigal, Quispe y Modesto [10], en su investigación *“Cálculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica”* tiene por objetivo calcular tanto la generación de biogás como el potencial eléctrico del mismo en el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, departamento de Puno, en Perú utilizando el método de la USEPA con el modelo matemático *“Landfill Gas Emissions Model”* (LandGEM Versión 3.02), para ello iniciaron realizando un diagnóstico al botadero de Chilla, para determinar las cantidades y características de los residuos, luego estimaron la proyección de generación total de residuos en un periodo de 25 años (2018 – 2043). La información hallada fue ingresada al interfaz desarrollado por la USEPA en Microsoft Excel, donde se colocan los datos relacionados a las variables  $k$  (tasa de generación de metano), el valor seleccionado fue para un relleno sanitario de tipo convencional por lo que su valor resulta de 0,05; la siguiente variable se trata del  $L_0$  (capacidad potencial de generación de metano), el valor seleccionado para un relleno sanitario convencional (RSC) es de  $170\text{ m}^3/\text{Mg}$ . Para un RSC las concentraciones de composiciones orgánicas de no metano son de 4 000 ppmv (partes por millón de volumen) este ítem pertenece a una larga lista de gases que son emitidos por los residuos sólidos municipales dispuestos en botaderos, entre ellos se encuentra el sulfuro de hidrógeno. Así mismo, el valor de concentración de metano idealmente 50% para condiciones de un RSC. A partir de los resultados obtenidos se realizó la estimación del potencial de producción eléctrica, se consideró

un motor de combustión interna, pues este representa las mejores condiciones por su tamaño y el valor de inversión. Finalmente, los resultados arrojaron un resultado de 58 285 801,66 m<sup>3</sup> en el año 2044, año pico de generación de biogás, considerando una eficiencia de 38% de recuperación para energía eléctrica, indica que se llega a una capacidad máxima de generación de 122 998 MWh/año, demostrando un alto potencial de generación de electricidad para Juliaca.

La investigación publicada por Madrigal, Quispe y Modesto representa un fundamento bastante importante al momento de realizar la proyección de generación de biogás, específicamente de metano y por ende la estimación de generación de energía eléctrica a partir del modelo que presenta la USEPA en el software desarrollado en el programa de LandGEM Versión 3.02.

Oluwadare [11], es su investigación "*Design of Engineered Sanitary Landfill for Efficient Solid Waste Management in Ado – Ekiti, South – Western Nigeria*" (*Diseño Ingenieril de un Relleno Sanitario para la Gestión Eficiente de los Residuos Sólidos en Ado – Ekitti, South – Western Nigeria*) tiene por objetivo diseñar un relleno sanitario para una eficiente gestión de los residuos sólidos en Ekitti, una ciudad de Nigeria; para ello se planteó evaluar el método existente de eliminación de residuos en Ado Ekitti, para continuar por el planteamiento del diseño de un relleno sanitario, así mismo, brinda recomendaciones para la gestión efectiva de residuos sólidos. La investigación determinó que actualmente el método de gestión es el convencional, el cual no satisface las necesidades de gestión de residuos, además, este no logra la recuperación óptima de los recursos; a partir de esto continuó con el planteamiento del diseño, para ello empezó por los requisitos básico para la selección de ubicación del relleno sanitario, el cual debe cumplir con un aislamiento hidrológico total o parcial, con preparaciones formales de ingeniería, control permanente y con ubicación y cobertura de residuos planificada; también consideró distancias mínimas a vecindarios y aeropuertos, las condiciones geológicas e hidrológicas, existencia de agua subterránea, riesgos de inundaciones, hundimientos y deslizamientos de tierra, distancias de transporte e infraestructura existente, acceso a material de cobertura y topografía. Luego, continuó por el diseño de la capacidad del relleno sanitario, calculó el producto de la suma de los residuos planificados que se vaciarán y el material de cobertura por el número de años que operará el relleno sanitario. Otro paso importante a destacar, fue referente a los lixiviados generados, para ello utiliza el método Suizo, así mismo determina el área de las tuberías por las que se transportarán. Finalmente, los residuos sólidos en Ekiti resultaron ser de 226,4 toneladas/día, con necesidad de 117,08 toneladas/día de material de cobertura, los lixiviados resultaron ser de 0,833 m<sup>3</sup>/segundo, el área de la sección para los

fluidos resultó ser de 0,39 m<sup>2</sup>. Concluyó en que es necesario rediseñar el sistema de gestión de residuos sólidos actual e implementar el diseño del relleno sanitario propuesto.

La investigación de Oluwadare, fue muy importante, pues marcó la metodología a seguir en el desarrollo del resultado del diseño del relleno sanitario de la presente investigación, además fue contrastada con la principal guía que fue utilizada también, [12] *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*.

Vernero, Carú, Galleguillos y Achondo [13], en su investigación "*Tecnologías disponibles para la purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica*" tienen por objetivo analizar las diferentes tecnologías que se encuentran hoy por hoy disponibles para la purificación del Biogás en el proceso de generación eléctrica, para lo que inician por una breve descripción de ellas, y realizan una discusión de la viabilidad de estas para determinar cuál es la más conveniente desde el punto de vista de diferentes factores, principalmente los de carácter ambiental y económico. Es sabido que existen dificultades para directamente producir energía a partir del biogás capturado de un relleno sanitario, y en realidad de todo biogás, debido a su composición y a las condiciones en las que se produce, al ser una descomposición anaeróbica surge el ácido sulfhídrico, la conveniencia de su eliminación proviene del impacto que este produce tanto a los equipos como al medio ambiente, pues llega a corroer y volver inservibles los equipos, por el lado ambiental, es el principal causante de lo que conocemos como lluvia ácida; por lo que su eliminación resulta necesariamente importante. Ante ello la investigación presenta diferentes tecnologías, las que varían de métodos por adsorción, siendo estos a través de la utilización de carbón activado, silicagel y/o ambos; métodos por absorción donde los compuestos a utilizar son hierro o compuestos orgánicos; otro método es el de filtración por membrana; finalmente mencionan y hacen hincapié en el método biológico, tratándolo como el método más conveniente ambientalmente, por lo que se utilizan microorganismos basándose en la oxidación de estos, sin embargo, este tiene un punto en contra, que tiene que ver con el tiempo de descomposición, se trata del menos estable.

La investigación realizada por Vernero, Carú, Galleguillos y Achondo permitió la selección del método más conveniente para la purificación del biogás, paso muy importante en el proceso de generación de energía eléctrica, a pesar de que los investigadores seleccionan un método

distinto al seleccionado en la presente investigación, sirve de fundamento y guía, para realizar una comparación entre los distintos métodos.

Cadena, Mora y Pérez [14], en su investigación *“Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir del biogás de vertedero”* tiene por objetivo realizar un análisis de viabilidad financiera de una central de generación eléctrica a partir del biogás producido por los residuos sólidos urbanos depositados en un relleno sanitario ubicado en Colombia llamado La Glorita, para ello determinó que tipo de planta de generación sería la más conveniente, teniendo en cuenta que existen plantas térmicas con motor de combustión interna, planta térmica de ciclo combinado y planta térmica con microturbinas de gas, luego realizó un análisis de los esquemas tarifarios usuales para las Energías Renovables No Convencionales, las que se encuentran reguladas en el país de Colombia, y realizó el análisis financiero del proyecto, para el cual toma en cuenta ítems principales y sumamente importantes dentro del funcionamiento de un relleno sanitario, estos son: el sistema de recuperación del biogás, compuesto de los sistemas de recolección, drenajes horizontales para los lixiviados y pozos verticales para captura de biogás, así mismo, el sistema de extracción que incluye bombas, válvulas, etc. También considera el sistema de generación de energía eléctrica para la que es necesario tener en cuenta la tasa de recuperación media de biogás; el costo de conexión a la red y los costos de mantenimiento y operación. Los ingresos a obtener en una planta de generación son producto de la venta de energía y de certificados de reducción de emisiones, y los egresos están asociados a los costos de mantenimiento y operación. Los resultados de la evaluación financiera arrojaron que la opción con un motor de combustión interna es la más rentable ya que la relación B/C es mayor que 1. Finalmente, la aplicación de un relleno sanitario, mediante una estrategia de aprovechamiento es una alternativa que favorece una gestión adecuada de los residuos sólidos producidos por la población.

La investigación desarrollada por Cadena, Mora y Pérez resultó de gran ayuda al momento de determinar los costos implicados en el desarrollo del análisis de viabilidad del presente proyecto de tesis, así mismo, permitió conocer los diferentes tipos de plantas para generación de energía eléctrica.

Menikpura, Sang y Bengtsson [15], en su investigación *“Climate co-benefits of energy recovery from landfill gas in developing Asian cities: a case study in Bangkok”* (Co-beneficios climáticos

*de la recuperación energética del gas de relleno sanitario en ciudades asiáticas en desarrollo: un estudio de caso en Bangkok)* tiene como objetivo evaluar los beneficios a partir de la recuperación de gas del relleno sanitario en Bangkok llamado Rachathewa, para generación de electricidad. Para ello, el autor empezó con un diagnóstico de la situación actual del relleno sanitario Rachathewa, detalló el modelo de diseño bajo el que se construyó el relleno sanitario, y definió el marco para estimar las emisiones de gas de efecto invernadero desde la perspectiva del ciclo de vida del relleno sanitario. Así se pudo obtener la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero del proyecto respectiva para este relleno sanitario donde son depositados 3 500 toneladas de RSU al día, de la cual se recuperó 117 752 114 m<sup>3</sup> de biogás. Se obtuvieron además como resultados, que el potencial de mitigación de gases de efecto invernadero en el relleno sanitario, estimado desde la perspectiva del ciclo de vida, es de 471 763 toneladas de CO<sub>2</sub> durante 10 años, por otro lado la extracción de gas metano es sólo del 12%, es considerable que se pudiese continuar por 10 años más, sin embargo podría darse el caso solo si se mejoran las condiciones del relleno sanitario, permitiendo llegar a una extracción del 43% de biogás de mayor eficiencia, de planificarse cuidadosamente el potencial se determinó que sistemas mejorados de recuperación de gas mejorarían el aprovechamiento, además el 80% del gas del relleno es producido durante los 20 primeros años después de cerrado el relleno sanitario. Así mismo, de no contarse con una recuperación de gas 64,75 kg de metano pueden escapar a la atmósfera por cada tonelada de residuos dispuestos, contribuyendo potencialmente al calentamiento global. Finalmente concluye que las tecnologías de manejo de residuos sólidos municipales con un sistema de recuperación de gas pueden ser de bajo costo y una tecnología de fácil manejo.

La investigación de Menikpura y Begtsson demuestran lo factible que se puede ser aprovechar el biogás extraído de un relleno sanitario, de planificarse adecuadamente, siguiendo el mismo esquema que esta y otras fuentes muestran, diagnosticando primero el estado actual, permitiendo dibujar las directrices bajo las que se debe realizar el diseño de un relleno sanitario. Por otro lado, es necesario recalcar, que la investigación de Menikpura y Begtsson fue realizada en la ciudad de Bangkok donde se recuperan 3 500 toneladas al día, donde la recuperación de biogás es bastante alta.

## 2.2. Bases Teórico Científicas

### 1. Residuos Sólidos

De acuerdo con el *Glosario de Términos de la Gestión Ambiental Peruana* [16] son residuos sólidos las sustancias, productos o sub productos que se encuentran en estado sólido o semisólido de los que su generador debe disponer según los procesos establecidos por norma.

#### 1.1. Tipos de Residuos Sólidos

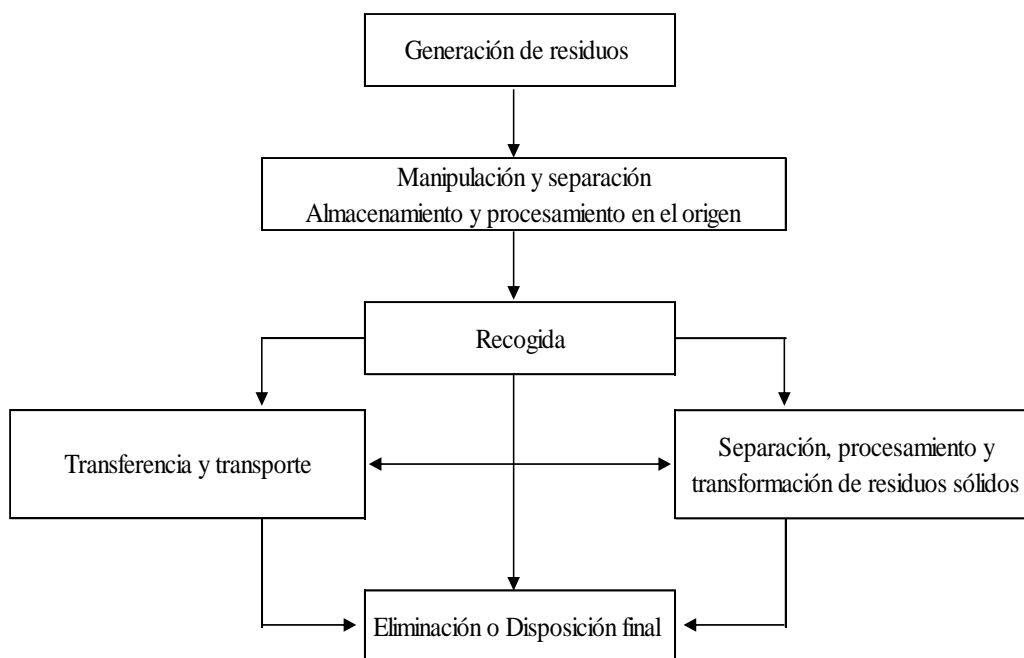
Los términos descritos en la siguiente tipología se encuentran también en el *Glosario de Términos de la Gestión Ambiental Peruana* [16].

- ***Residuos de gestión municipal***: son aquellos generados por la población y de los cuales es responsabilidad del municipio desde el momento en que el generador los entrega a los operarios responsables de la prestación del servicio de recogida.
- ***Residuos de gestión no municipal***: estos son los generados en los procesos o actividades que no se encuentran comprendidas en el ámbito de la gestión municipal, por lo que su disposición final debe recibir otro tipo de tratamiento.

### 2. Sistema de gestión integral de residuos sólidos municipales

Según Munizaga [17] la gestión integral de residuos sólidos municipales se define como “el conjunto articulado de acciones normativas, operacionales, financieras y de planificación que desarrolla una administración municipal o privada, basándose en criterios sanitarios, ambientales, económicos, para recolectar, tratar y disponer los residuos sólidos de la población. Gestionar los residuos sólidos de una manera integral significa limpiar la ciudad (con un sistema de recolección y transporte adecuado) y procesar los residuos utilizando las tecnologías más compatibles a la realidad local, dándole destino final ambientalmente seguro, tanto en el presente como en el futuro.

Munizaga explica la adecuada gestión integral de residuos sólidos domiciliarios a través de la Figura N°1. Esquema del sistema de manejo de residuos sólidos municipales.



**Figura N°1. Esquema del sistema de manejo de residuos sólidos municipales**

Fuente: Munizaga, 2009

### 3. Disposición final de residuos sólidos municipales

De acuerdo con el Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [3], la disposición final de residuos sólidos municipales se realiza en rellenos sanitario, los que deben ser implementados por las mismas municipalidades o una Empresa Operadora de Residuos Sólidos. Para la correcta disposición de los diferentes tipos de residuos, se debe tener en cuenta colocarlos en celdas diferenciadas. En caso no se contará con EO-RS la disposición final de los residuos sólidos provenientes de establecimientos de salud, podrán ser dispuestos en el relleno sanitario, de aquellos que sean categorizados en primer nivel de atención.

### 4. Relleno Sanitario

De acuerdo con Trejo [18], un relleno sanitario es el método de disposición más completo y de menos costo, además de ser uno de los más antiguos, pues desde los años cuarenta este método viene siendo ampliamente difundido en todo el mundo. Así mismo, para Elias [19], el relleno sanitario es una instalación en la que se han tomado medidas necesarias para evitar la contaminación ambiental a diferentes factores, como el aire, agua, debido a que afectan al medio ambiente y a la salud de las personas.

#### **4.1. Características básicas de un relleno sanitario**

Para Elias [19], las principales características con las que debe contar un relleno sanitario son las siguientes:

- Residuos aislados del medio ambiente con una barrera de arcilla.
- Control del espacio ocupado, así como de la estabilidad del depósito, compactando los residuos a medida que son dispuestos.
- Control de animales, cubriendo los residuos con arcilla.
- Captación y tratamiento de lixiviados y gases.
- Clausura y recuperación del espacio ocupado al finalizar la vida útil.

#### **4.2. Etapas de puesta en marcha de un relleno sanitario**

De acuerdo con Elias [19], la puesta en marcha de un relleno sanitario supone diferentes acciones:

- Localización del terreno: es necesario ubicarlo en un lugar donde se garantice que la contaminación no pasará al medio, para esto se debe tener en consideración lo siguiente:
  - Impermeabilidad natural de los suelos, a manera de evitar el paso de contaminantes a los acuíferos en caso falle la capa impermeable.
  - Inexistencia de acuíferos próximos, mucho menos aquellos que se utilizan para el consumo humano,
  - Morfología del terreno y fácil acceso para comunicar la instalación y la población productora de los residuos a disponer.
  - Terreno no inundable, para evitar la concentración de agua en el caso de presentarse precipitaciones, evitando también la excesiva generación de lixiviados.
- Preparación del vaso de vertido: Para esta etapa se debe tener en cuenta lo siguiente
  - Preparación de la geometría del vaso mediante excavaciones en el terreno.
  - Doble impermeabilización artificial, mediante la combinación de una capa de arcilla compactada, en el caso de contar con un terreno no arcilloso, y una geomembrana sintética impermeabilizante.
  - Encima de las capas se debe colocar un sistema de drenaje que permita la recogida y captación de los lixiviados.

- Explotación del vertedero: En esta etapa se procede a la disposición de los residuos en la superficie, en zonas determinadas llamadas células o módulos, para esto se debe tener en cuenta como son llevados los residuos, es decir su forma, pueden ser llevados compactados o en bolsas.
  
- Recogida de las aguas superficiales y lixiviadas: La atención a los lixiviados suponen contrarrestar un impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que la instalación debe disponer de un sistema de recogida. Para ello se debe tener en cuenta:
  - Aguas exteriores a la zona de vertido, impidiendo así que ingresen aguas superficiales al interior.
  - Aguas superficiales de las zonas cubiertas, para ser vertidas a cauce público, al comprobarse que están limpias.
  - Aguas infiltradas, las que son captadas por una red de drenaje ubicada en el fondo del vaso del vertedero, entre las diferentes capas de residuos y conducidas a su almacenamiento y tratamiento.
  
- Desgasificación del vertedero: la descomposición anaerobia de los residuos genera gases, llamado metano o biogás, representando un riesgo de explosión e incendio en los vertederos, es por esto que es necesario realizar una red de captación de biogás, una vez tomadas las medidas se puede considerar:
  - Evacuar el gas directamente a la atmósfera, teniendo en cuenta que este contribuye con los gases de efecto invernadero.
  - Oxidar el biogás a la salida, desperdiciando así su poder calorífico.
  - Valorizar el biogás en motores de cogeneración, produciendo electricidad.
  
- Sellado y post clausura de la instalación: al agotar la capacidad del vaso de vertido se procede a su clausura y sellado, para impedir la entrada de agua y lixiviación, para ello se deben realizar las siguientes acciones:
  - Igualar la capa de residuos, para evitar el encharcamiento en la superficie.
  - Cobertura de la última capa de residuos con material impermeabilizante, con arcilla y geomembrana sintética, según sea el caso.
  - Capa de tierra soporte, en las zonas con pendiente para facilitar la evacuación del agua de escorrentía.

- Seguimiento de la zona clausurada mediante piezómetros de control de aguas subterráneas y los conductos de desgasificación.

#### **4.3. Población que se atenderá con el relleno sanitario**

Collazos [20] hace referencia a la importancia de conocer a la población de manera más específica menciona cuatro variables que deben identificarse previamente:

- Tamaño de la población que se atenderá en el relleno sanitario
- Velocidad del crecimiento
- Distribución geográfica
- Densidad de población
- Características de la población
- Capacidad económica de la población, costumbre, hábitos y expectativas con respecto a los residuos sólidos
- Tendencias de urbanización

Las características mencionadas por el autor dan paso al correcto hallazgo de la generación futura de residuos en la población, lo que también permitirá establecer la cobertura del servicio ya que finalmente estas características determinarán la capacidad del diseño.

#### **4.4. Metabolismo y productos de vertedero: Biogás y Lixiviados**

Los residuos sólidos depositados en un vertedero son degradados como resultado de una intensa actividad biológica y de reacciones químicas entre los materiales que componen la masa de residuos y los líquidos lixiviados que circulan entre ellos [21]. Estas reacciones van a favorecer la aparición de unos productos que saldrán del vertedero en forma de gases o líquidos, pero que tienen el peligro de poder contaminar acuíferos, el suelo o la atmósfera e incluso de dar lugar a explosiones, por lo que su tratamiento es indispensable.

### **5. Diseño del Relleno Sanitario**

Collazos [20] indica que antes de dar inicio al diseño de un relleno sanitario se debe conocer muy bien la topografía del lugar, los promedios mensuales de precipitación, los días mensuales con lluvia, los promedios diarios de basura que llegarán en el tiempo de vida útil del terreno, la composición física y química de la basura y el parque automotor disponible.

## 5.1. Obras de adecuación

Collazos [20] menciona que conociendo el terreno donde se construirá el relleno sanitario, se debe dar inicio con obras de adecuación antes de iniciar la operación. Estas obras incluyen aspectos importantes que se mencionan a continuación:

- a. *Puerta*: la puerta del relleno debe ser un sistema de seguridad que impida la entrada a animales o para que no ingresen personas sin autorización, su diseño se encuentra a libre albedrío del diseñador, sin embargo, el autor presenta una sugerencia como se muestra en la figura.
- b. *Caseta de registro*: esta debe encontrarse a la entrada del relleno sanitario, su principal función consiste en operar los controles de entrada de basura y ser el lugar donde se guarda inicialmente “la memoria del relleno sanitario”.
- c. *Báscula*: es obligatorio para poblaciones con más de 200 000 habitantes, sin embargo, el dato de peso de la basura, además de servir para cobrar el servicio de disposición final, proporciona información muy importante para conocer la vida útil del relleno, las necesidades de material de cobertura, de personal y de maquinaria, así como las cantidades de gases y lixiviados que se producen.
- d. *Bodega y talleres de mantenimiento*: en el caso de rellenos sanitarios medianos se debe construir bodegas que sirvan de garaje y lugar de reparaciones menores, por otro lado, en el caso de rellenos sanitarios pequeños una bodega de 2,5 m x 3,0 m puede ser suficiente espacio para reparaciones menores.
- e. *Canales para aguas de escorrentía*: estos son interceptores para desviar las aguas de lluvias y evitar que pasen sobre la basura, penetren y aumenten los caudales de lixiviados.

## 5.2. Selección de área

El Ministerio de Salud ha elaborado una *Guía Técnica para la Clausura y Conversión de Botaderos de Residuos Sólidos Municipales* [22] la que pretende evaluar y categorizar los actuales botaderos existentes, para tomar la decisión de si estos deben ser clausurados o tienen la opción de ser convertidos a un relleno sanitario controlado, para ello propone dos metodologías de evaluación a través de los siguientes mecanismos de evaluación.

### **5.2.1. Metodología para la categorización de un botadero de acuerdo a su prioridad de clausura.**

De acuerdo a la *Guía Técnica para la Clausura y Conversión de Botaderos de Residuos Sólidos* [22] se evaluarán las características y los impactos más relevantes que ocasionen al medio ambiente, así como al ser humano, para ello toma en cuenta criterios generales como la cantidad de residuos que contiene, área que ocupa, tipo de residuos que contiene, tiempo de actividad, distancia a viviendas o poblados, características geofísicas del sitio, así mismo, considera aspectos socioeconómicos y riesgos a la salud que pudiese ocasionar o que haya ocasionado, la evaluación reúne una puntuación máxima de 100 puntos, el detalle de puntuación se encuentra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para la que hay que tener en cuenta la siguiente calificación:

- De 71 a 100 se considera como un botadero de alto riesgo
- De 31 a 70 se considera como un botadero de riesgo moderado
- De 05 a 30 se considera como un botadero de bajo riesgo

Finalmente, la guía determina que solo en el caso de que un botadero sea categorizado como de alto riesgo este debe ser clausurado, mientras que en menor valor este puede ser convertido a un relleno sanitario con técnicas de ingeniería.

### **5.2.2. Metodología para categorización de un botadero de acuerdo a los impactos**

Bajo esta metodología en [22] se pretende evaluar también los impactos más relevantes que el botadero ocasiona al medio ambiente y al ser humano, por lo que estos aspectos se encuentran relacionados los aspectos socioeconómicos y de la salud. Las condiciones y puntuaciones se pueden observar en la tabla siguiente, así mismo se muestra la clasificación para la determinación de la calificación.

- De 71 a 100% como un botadero de alto riesgo
- De 31 a 70% como un botadero de riesgo moderado
- De 05 a 30 % como un botadero de bajo riesgo

Por lo que, si es categorizado como un botadero de alto riesgo, este debe ser clausurado lo antes posible, sin embargo, con una calificación de moderado riesgo o de bajo riesgo, este puede tener una conversión a ser un relleno sanitario con menor impacto ambiental.

**Tabla 1. Categorización de un botadero por su impacto**

Impactos ambientales		
Aspecto	Condición	Puntuación
<b>1. Suelo</b>		
Área ocupada para los residuos	> 1 ha	1,00
	< 1 ha	0,00
Tipo de residuos	Industrial	1,00
	Municipal	0,00
Incompatibilidad del uso del suelo	Sí	1,00
	No	0,00
Presencia de lixiviados	Sí	1,00
	No	0,00
<b>2. Aire</b>		
Presencia de biogás	Sí	1,00
	No	0,00
Quema de residuos	Sí	0,50
	No	0,00
Presencia de olores desagradables	Sí	0,50
	No	0,00
<b>3. Agua</b>		
Presencia de lixiviados	Sí	2,00
	No	0,00
<b>4. Flora</b>		
Daños a la vegetación	Sí	2,00
	No	0,00
<b>5. Fauna</b>		
Proliferación de fauna nociva	Sí	1,00
	No	0,00
Alteración de la fauna terrestre o acuática	Sí	1,00
	No	0,00
<b>6. Patrimonio cultural y natural</b>		
Cerca o en sitios de patrimonio histórico religioso y turístico	Sí	1,00
	No	0,00
Cerca o en áreas de reserva o protección natural	Sí	1,00
	No	0,00
<b>Actividades socioeconómicas y de salud</b>		
Presencia constante de grupos humanos	Sí	4,00
	No	0,00
Riesgo a la salud de los grupos humanos que viven en la zona o en los alrededores	Sí	4,00
	No	0,00
Afectación de otras actividades (socioeconómicas, turísticas, etc.)	Sí	4,00
	No	0,00
<b>TOTAL</b>		<b>30,00</b>

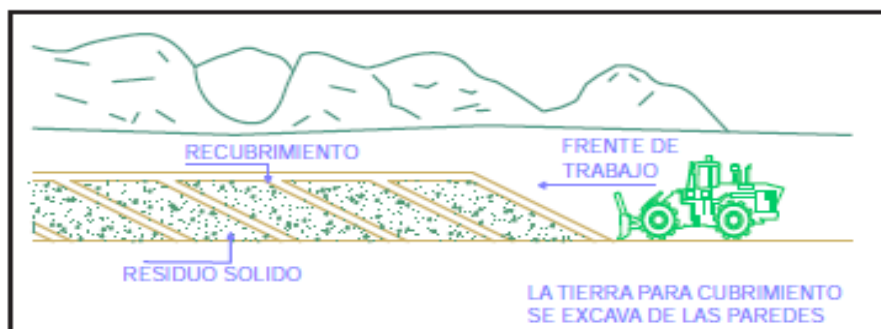
Fuente: Consejo Nacional del Ambiente, 2004

### 5.3. Selección del método de diseño

Según la *Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de un Relleno Sanitario Manual* [23] existen diferentes métodos para la disposición final de los residuos sólidos, entre estos se tiene los siguientes:

#### 5.3.1. Método de trinchera

Este método consiste en la disposición de residuos sobre el talud inclinado de la trinchera, donde se esparcen y compactan con el equipo más adecuado, en capas formando una celda la que después será cubierta con material de cobertura, el cual puede ser el excavado de la misma trinchera, su frecuencia mínima es de un día, así mismo se puede observar en la Figura N°2. **Método tipo trinchera** como quedan dispuestos los residuos bajo este método, el cual es usado en lugares donde el nivel de agua freática es profundo, donde las pendientes del terreno son suaves.

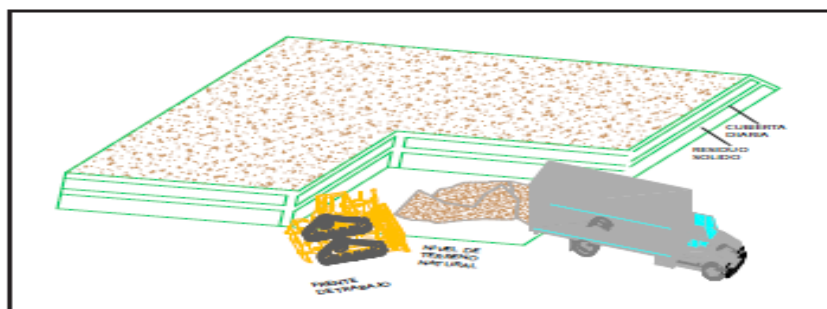


**Figura N°2. Método tipo trinchera**

Fuente: MINAM, 2015

#### 5.3.2. Método del área

Este método es muy parecido al método anteriormente mencionado, su operación constituye depositar los residuos en taludes inclinados, donde se deberán compactar en capas inclinadas de 60 cm, siendo estas las celdas diarias, lo peculiar es la dirección de su avance, pues se inicia su construcción en un extremo del área y se avanza hasta terminar en el otro extremo, como se puede apreciar en la Figura N°3.

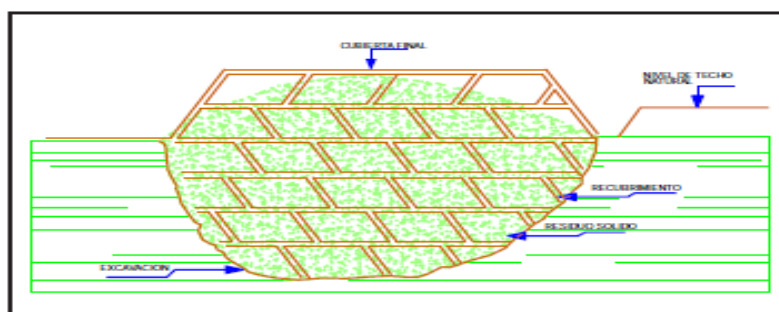


**Figura N°3. Método del área**

Fuente: MINAM, 2015

### 5.3.3. Método combinado

Este método es considerado el más eficiente pues su principal objetivo es hacer más del uso del espacio para así aumentar la vida útil del terreno, además permite ahorrar el transporte de material de cobertura, para lo cual se debe considerar que este se encuentra en el mismo lugar, consiste en usar el método de trinchera y a la vez el método del área a la vez, como se observa en la Figura N°4 donde los residuos fueron dispuestos tanto bajo tierra como sobre la misma.



**Figura N°4. Método combinado**

Fuente: MINAM, 2015

Así mismo es necesario tener en cuenta también la clasificación que realiza el Ministerio del Ambiente en su *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos* [12], donde menciona tipos de rellenos sanitario por tipo de capacidad e infraestructura, esta clasificación puede determinar qué tipo de maquinaria y herramientas se deberá utilizar al momento de operar el relleno sanitario, así mismo, sirve al momento de estimar la mano de obra que será requerida. Esta clasificación se puede observar en la Tabla 2. Tipo de relleno sanitario por su capacidad e infraestructura a continuación.

**Tabla 2. Tipo de relleno sanitario por su capacidad e infraestructura**

Rubro	Manual	Semi mecanizado	Mecanizado
Capacidad de disposición de residuos sólidos municipales	Hasta 6 t/día	Superior a 6 t/día hasta 50 t/día	Más de 50 t/día
Características de la operación	Las actividades de disposición son realizadas de forma manual y con herramientas manuales. El uso de maquinaria solo se debe para corte y acoplo de material de cobertura.	Las actividades de disposición final se realizan necesariamente con maquinaria. Para trabajos de acopio o traslado de tierra se debe considerar el uso de maquinaria.	Las actividades de disposición final son realizadas con maquinaria pesada, de uso exclusivo. Así mismo las operaciones debido a las cantidades dispuestas.
Principal uso de maquinaria	Esporádica, únicamente cuando es necesario.	Frecuente, según la cantidad a disponer diariamente.	Permanente.

Fuente: MINAM, 2018

#### 5.4. Estructura de impermeabilización de la base

El sistema de impermeabilización, considera las características y el tipo de material a utilizar, esta selección es realizada de acuerdo a tres aspectos descritos en [12] donde existe una clasificación de acuerdo al tipo de relleno sanitario a implementar. Esta estructura es la primera capa en la trinchera, capa de impermeabilización de la base, sobre la que luego se irán colocando las celdas diarias de residuos sólidos, de acuerdo al método de diseño seleccionado para la construcción del relleno sanitario.

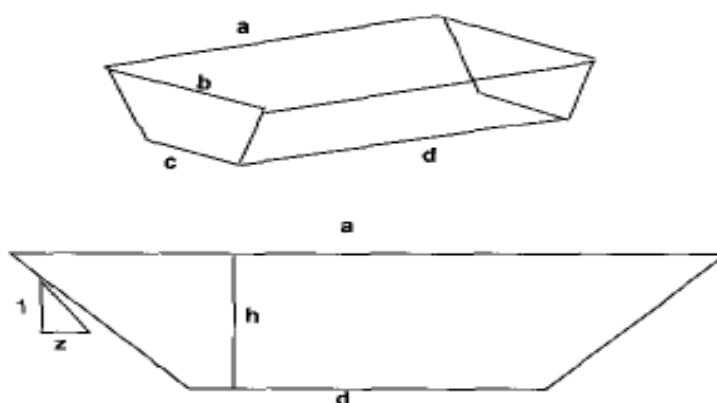
**Tabla 3. Tipo de estructura de impermeabilización de la base**

Tipo de relleno sanitario	Estructura de impermeabilización de la base
Manual	Capa granular de protección (0,20 m) Geotextil no tejido 300 g/m <sup>2</sup> Geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1,2 mm Superficie de la base conformada: espesor de 0,40 m Suelo original luego de ser compactado
Semi mecanizado	Capa granular de protección (0,20 m) Geotextil no tejido de 300 g/m <sup>2</sup> Geomembrana de HDPE de 1,5 m Superficie de la base conformada: espesor de 0,40 m Suelo original luego de ser compactado
Mecanizado	Descarga y disposición final de residuos Capa granular de protección (0,20 m) Geomembrana de HDPE de 1,5 m Superficie de la base conformada: espesor de 0,80 m Suelo original luego de ser compactado

Fuente: MINAM, 2018

### 5.5. Volumen de recepción de las trincheras

El objetivo principal del diseño es calcular el volumen de recepción por cada trinchera, las que deben satisfacer el volumen a recibir por el relleno sanitario. Para ello se tendrá en cuenta lo planteado por [12] con la siguiente fórmula.



**Figura N°5. Parámetros para el cálculo del volumen de recepción**

Fuente: MINAM, 2018

El cálculo del volumen debe realizarse mediante el método de áreas promedio y altura, de acuerdo a:

**Ecuación 1:** *Volumen de recepción de las trincheras*

$$\text{Volumen} = \frac{1}{3} h(axb + cxd + \sqrt{(axb)x(cxd)})$$

Donde:

- a: Largo de base mayor
- b: Ancho de base mayor
- c: Ancho de base menor
- d: Largo de base menor
- h: Altura

### 5.6. Cálculo de vida útil

De acuerdo a [12] la vida útil de un relleno sanitario se debe determinar de acuerdo a la capacidad de las trincheras y/o plataformas, este cálculo como mínimo debe ser de 10 años.

Este cálculo puede estar determinado por el área disponible para la implementación de un relleno sanitario.

### 5.7. Cálculo de la celda de trabajo diario

Para [12] la superficie mínima a rellenar de manera diaria debe considerar los volúmenes de residuos a disponer y adicionalmente el material de cobertura que los acompañará.

### 5.8. Cobertura diaria y final a utilizar

Según [12] la cobertura final es el espesor total de tierra que cubrirá la superficie ocupada por los residuos, entre sus objetivos se encuentran: evitar la infiltración de agua debido a las precipitaciones pluviales, evitar la exposición de residuos por agrietamientos o erosión, minimizar los olores emitidos por la salida de gases de vertedero y posibilitar la revegetación de la superficie en la etapa final de este. Para la correcta selección del tipo de material de cobertura final se debe tener en cuenta el tipo de relleno sanitario y su ubicación geográfica, de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 4. Espesor de cobertura diaria por tipo de relleno sanitario**

Características	Relleno Manual	Relleno semi mecanizado	Relleno mecanizado
Espesor de compacto de tierra de cobertura diaria	De 0,1 a 0,20 m	Aproximadamente 0,10 – 0,30 m	Aproximadamente 0,10 a 0,30 m

Fuente: MINAM, 2018

### 5.9. Diseño del sistema de gestión y manejo de lixiviados

En todo relleno sanitario existen generación tanto de emisiones como de lixiviados, para [12] estos deben tratarse con mucho cuidado pues pueden significar una fuente de contaminación, por ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- En aquellos rellenos sanitarios que se encuentran ubicados en áreas con escasa precipitación pluvial, la generación de lixiviados está determinada principalmente por el contenido de humedad de los residuos orgánicos.
- Para aquellos rellenos sanitarios que se encuentran ubicados en sierra y selva, la intensidad y frecuencia de precipitaciones es mayor, por lo que el volumen de lixiviados es drásticamente mayor.

Para el diseño de este sistema [12] propone calcular el volumen de lixiviados bajo el Método Suizo, el cual considera factores como la precipitación directa que está relacionada a la producción de lixiviados debido a infiltración a través de las grietas del terreno. A continuación, se muestra la ecuación a utilizar.

**Ecuación 2: Caudal de Lixiviados**

$$Q = \frac{1xPxAxK}{t}$$

Donde:

Q: Caudal medio de lixiviado (l/seg)

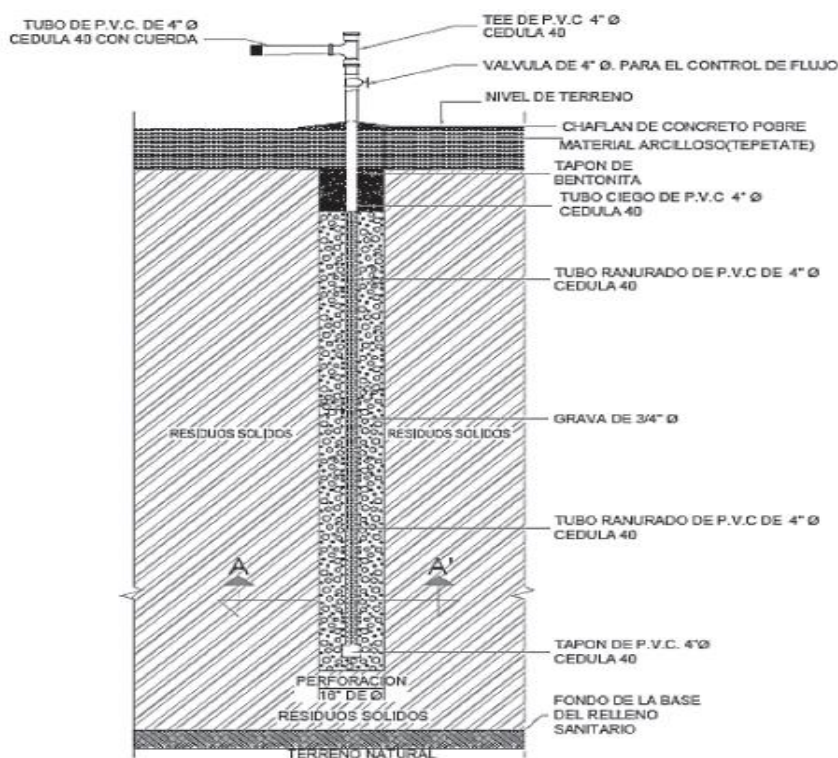
P: Precipitación máxima anual (mm/año)

A: Área de la trinchera

t: Número de segundos en un año (31 536 000)

K: Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura, cuyos valores recomendados son entre 25% a 50%.

Así mismo, Andrade, Restrepo y Tibaquirá en [24] muestra la estructura que tiene la extracción de gases de relleno sanitario, únicamente la parte de extracción del vertedero.



**Figura N°6. Estructura para extracción de gases de rellenos sanitarios**

Fuente: Andrade, Restrepo y Tibaquirá, 2018.

### 5.9.1. Poza de captación de lixiviados

Según [12] una vez que se realizó la estimación de caudal diario ( $m^3/día$ ) de lixiviado generado se procede a realizar el dimensionamiento de la poza de lixiviados, para ello se puede aplicar al mismo método presentado para el diseño de las trincheras.

### 5.9.2. Drenes para lixiviados

De acuerdo a [12] las dimensiones de los drenes para lixiviados va depender principalmente las condiciones climáticas de cada zona, la cantidad de residuos a ser dispuesto y el grado de compactación de estos, así mismo es importante especificar la distribución de estos en la base del relleno sanitario, para ello propone dos métodos.

**Tabla 5. Métodos de distribución para drenes de lixiviados**

Método de distribución	Descripción	Ubicación
Espina de pescado	La superficie base del relleno sanitario tiene pendiente de escurrimiento en sentido longitudinal (mínimo 2%) y relieve horizontal en sentido transversal	Dren principal en sentido longitudinal Drenes secundarios en sentido transversal (formando ángulos de 30° a 45° respecto del dren principal)
Drenes perpendiculares	La superficie base del relleno sanitario se habilita con pendientes de escurrimiento en sentido longitudinal y transversal (mínimo 2% en ambas direcciones)	Dren principal en sentido longitudinal Drenes secundarios en sentido transversal (formando ángulos de 90° respecto del dren principal)

Fuente: MINAM, 2018

Así mismo, el autor menciona que es importante tomar en cuenta el material que permitirá la filtración de los líquidos hacia las tuberías de recolección.

### 5.9.3. Tratamiento de lixiviados

Es necesario tomar en cuenta un método de tratamiento de lixiviados, pues estos también son una fuente de contaminación, debido a que se evaporan e impactan negativamente al medio ambiente, por lo que en [12] mencionan algunos métodos más comunes:

- Tratamiento biológico: aerobio como lagunas aireadas o de lodos activados, también puede ser anaerobio como reactores biológicos
- Tratamiento químico: como ozonización, oxidativos avanzados, peróxidos de oxígeno entre otros.
- Tratamiento térmico: estos pueden ser evaporación, condensación, cristalización entre otros.

- Tratamiento por separación: microfiltración, nanofiltración y ósmosis inversa.

### 5.10. Diseño zanja para precipitaciones pluviales

De acuerdo con [12] es necesario evitar que el agua de escurrimiento superficial llegue a la infraestructura por lo que resulta importante considerar la habilitación de canales perimetrales con el fin de interceptar el flujo de escurrimiento de precipitaciones fuera del área. Para determinar las formas, las dimensiones y características para la habilitación de los canales pluviales se usa el método racional bajo la siguiente fórmula:

**Ecuación 3:** Caudal de precipitaciones pluviales

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/seg)

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de la precipitación (mm/hora)

A: Área de influencia (ha)

Así mismo, el autor de [12] menciona dimensiones de zanjas perimetrales típicas de acuerdo a la intensidad de precipitación pluvial de la zona donde será implementado el relleno sanitario.

**Tabla 6. Secciones típicas de acuerdo a intensidad de precipitación pluvial**

Condiciones climáticas de la zona de ubicación	Intensidad de precipitación pluvial (mm/año)	Secciones típicas de zanja perimetral (m <sup>2</sup> )
Escasa precipitación pluvial, limitada a lloviznas ocasionales (zona de costa, excepto Tumbes)	Hasta 50 mm/año	Triangular o semicircular Sección mínima: 0,25 m <sup>2</sup>
Mediana intensidad de precipitación pluvial (algunas zonas de sierra)	50 mm/año a 250 mm/año	Trapezoidal Sección mínima: 0,36 m <sup>2</sup>
Intensa precipitación pluvial (zonas de sierra y selva)	Más de 250 mm/año	Trapezoidal Sección mínima: 0,55 m <sup>2</sup>

Fuente: MINAM, 2018

### 5.11. Sistema de gestión de gases

De acuerdo a [12] es de suma importancia colocar un sistema de captura de biogás, principalmente para mitigar el impacto de la emisión de gases de efecto invernadero, también se puede considerar la valorización de este.

La infraestructura para el manejo de los gases generados debe estar formada por drenes verticales que deben iniciarse en la base del relleno y prolongarse de forma vertical hasta la superficie proyectada para la disposición de los residuos sólidos.

Estos drenes tendrán las características como menciona la siguiente tabla de acuerdo al tipo de relleno sanitario.

**Tabla 7. Secciones transversales mínimas y materiales para drenes verticales para captura de gas de relleno sanitario**

Formas y dimensiones de las secciones	Relleno Sanitario Manual	Relleno Sanitario semi mecanizado	Relleno Sanitario mecanizado
Sección cuadrada, tipo gavión, habilitada con madera y malla metálica, rellena con piedras de tamaño mediano (6" a 10" de diámetro)	0,4 m x 0,4 m = 0,16 m <sup>2</sup>	0,4 m x 0,4 m = 0,16 m <sup>2</sup>	—
Sección circular, habilitada con cilindros metálicos (diámetro > 0,60 m) con un mínimo de 48 perforaciones con radio de 2" o con malla metálica	—	—	3,1416 (r <sup>2</sup> ) = 0,28 m <sup>2</sup>

Fuente: MINAM, 2018

Así mismo, para [12] es también muy importante tener en cuenta la definición de la ubicación y distribución de los drenes verticales para los gases en las trincheras donde serán dispuestos los residuos por lo que propone tomar en cuenta la siguiente tabla.

**Tabla 8. Distribución de drenes de captura de biogás en trincheras**

Tipo de relleno sanitario	Distribución de drenes verticales
Manual	Cada 15 m (área de influencia = 225 m <sup>2</sup> )
Semi mecanizado	Cada 30 m (área de influencia = 900 m <sup>2</sup> )
Mecanizado	Cada 30 m (área de influencia = 900 m <sup>2</sup> )

Fuente: MINAM, 2018

## 6. Biogás

La definición de biogás según Elias [19], consiste en un combustible gaseoso producido durante la descomposición anaerobia de la materia orgánica, que puede ser generado en una planta de tratamiento, así mismo, este se puede encontrar en un vertedero.

### 6.1. Producción de biogás

Según Collazos [20] las emisiones de un relleno sanitario se encuentran compuestas principalmente por metano y dióxido de carbono, además de una gran lista de componentes

en cantidades pequeñas y trazas, estas emisiones se realizan a través de la superficie del vertedero o del subsuelo. Existen factores que influyen directamente y en mayor magnitud para esta producción:

- Composición del residuo vertido: de acuerdo al porcentaje de materia orgánica biodegradable, humedad, de la presencia de nutrientes o inhibidores.
- Sistema de gestión del vertido de residuos: de acuerdo con el grado de compactación, la mezcla de distintos residuos, recirculación de lixiviados y su recubrimiento diario.
- Condiciones climatológicas de la zona: es necesario conocer el nivel de lluvias y las variaciones de temperatura.

## **6.2. Gestión y utilización del biogás**

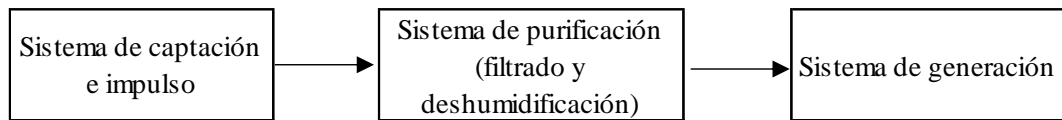
La recuperación de la energía del gas de basurero elimina las emisiones contaminantes del aire, previene que el metano de los basureros contribuya al calentamiento global, detiene la migración del metano fuera del basurero convirtiéndose en un peligro seguro o causar problemas de olores, y provee utilidades locales, a la industria y a los consumidores como una fuente competitiva de energía. Así mismo, Barradas [25] menciona que la extracción forzada del gas es esencial para la buena recuperación del mismo y para un buen control de las emisiones y olores.

Respecto a su utilización, varios estudios indican que:

- ✓ La utilización del gas parece ser redituable alrededor de un año después de que el residuo se ha depositado.
- ✓ Los rellenos pequeños son los menos económicos, pero comparados con otras fuentes alternas de energía la utilización del gas puede ser relativamente una buena inversión.

## **6.3. Recuperación de energía**

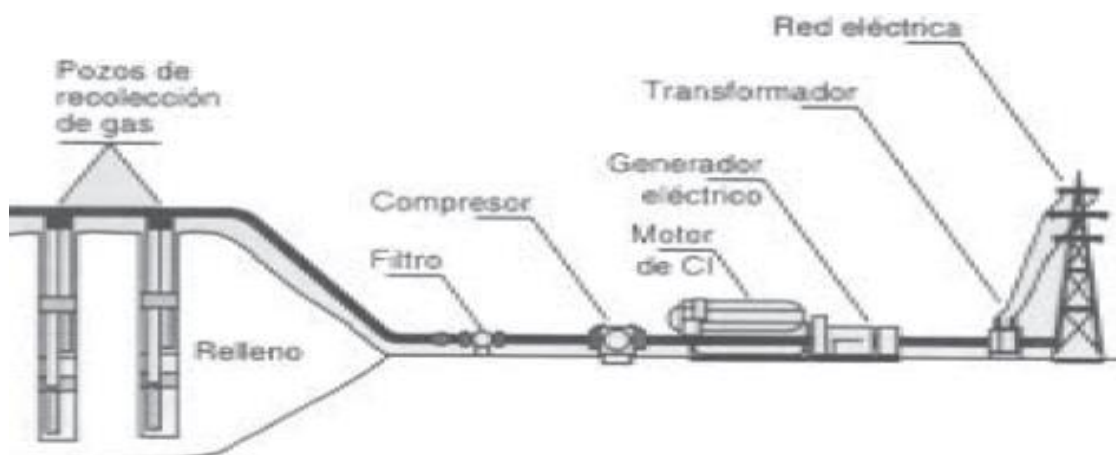
Para Barradas [25] el gas metano producido durante los procesos de degradación orgánica en los rellenos puede ser usado como combustible de unidades de generación eléctrica que posteriormente pueden ser empleados con fines domésticos. El uso de este tipo de combustible es una actividad que aprovecha un producto de los residuos y ahorra el consumo de otras fuentes de energía. Así mismo, Andrade, Restrepo y Tibaquirá en [24] grafica mediante un diagrama los sistemas que componen el aprovechamiento de biogás para generación de energía eléctrica.



**Figura N°7. Diagrama para aprovechamiento de biogás para generación de energía eléctrica**

Fuente: Adaptado de Andrade, Restrepo y Tibaquirá, 2018.

Además, Arvizu y Huacuz en [26] muestran un esquema de generación de energía eléctrica a partir de un relleno sanitario. En este se puede observar que, para implementar un mecanismo de transformación de biogás a energía eléctrica, se debe considerar contar con equipos que permitan llevar a cabo lo citado de Andrade, Restrepo y Tibaquirá, como son filtros, compresores, motores de combustión interna, generador eléctrico y un transformador que permita ingresar la energía eléctrica producida a la red pública, o red del proveedor de energía de la comunidad.



**Figura N°8. Esquema de generación eléctrica en un relleno sanitario**

Fuente: Huacuz Villamizar, 2013

### 6.3.1. Potencial disponible

Así mismo, el Banco Interamericano de Desarrollo [27] propone una ecuación para la producción de energía eléctrica a partir del biogás, esta ecuación considera escenarios de baja, media y alta disponibilidad de metano, además parámetros relacionados a la eficiencia de las máquinas involucradas en la conversión de energía.

**Ecuación 4:** *Potencial disponible de energía*

$$\text{Potencia disponible (kW)} = n_t \times PCI_{\text{biogás}} \times Q_{\text{biogás}}$$

Donde:

$n_t$ : es el rendimiento térmico de generar electricidad, asumiendo valores de 25, 33 y 40% para los diferentes escenarios.

$PCI_{\text{biogás}}$ : es el poder calorífico inferior del biogás (5 kWh/m<sup>3</sup>)

$Q_{\text{biogás}}$ : es el caudal capturado (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/hora)

### 6.3.2. Energía eléctrica producida

Para [27] la energía eléctrica que se podrá generar debe ser estimada en función de la potencia disponible y el factor de disponibilidad, el cual puede ser estimado en 85% debido al mantenimiento, ante ello utilizar la siguiente ecuación:

*Ecuación 5: Energía eléctrica a producir*

$$\text{Electricidad} \left( \frac{kWh}{\text{año}} \right) = \text{Potencia disponible} \times 0,85 \times 8\,760$$

### 2.3. Definición de términos básicos:

- Aprovechamiento: acto de hacer uso de manera útil algo, sacándole mayor rendimiento y convirtiéndolo en algo provechoso.
- Biogás: sustancia gaseosa, producida a partir de la degradación de materia orgánica presente en los desechos; esta sustancia es un combustible aprovechable que de no ser tratado contribuye a la contaminación de la capa de ozono.
- Relleno sanitario: método de diseño para la disposición final de los residuos, donde se depositan los desechos generados por una población, los que son acondicionados de la manera adecuada, para evitar impactos ambientales negativos, así como afectaciones a la salud humana.

### III. Resultados

#### 3.1. Diagnóstico de la Situación Actual de la Gestión de los Residuos Sólidos Municipales en el Distrito La Coipa

##### 3.1.1. Distrito La Coipa

Al norte del país se encuentra el distrito de La Coipa, uno de los siete que forman parte de la provincia de San Ignacio en el departamento de Cajamarca, creado mediante la Ley 15560 del 12 de mayo de 1965, durante el gobierno del presidente Fernando Belaunde Terry. Se encuentra ubicado como se muestra en Figura N°9. Limita por el noroeste con el distrito de Chirinos; por el sur con la provincia de Jaén y, por el este con el distrito de Tabaconas. Comprende una extensión territorial de aproximadamente 376,09 km<sup>2</sup> con una altitud de 1 500 m.s.n.m. Además, cuenta con 8 centros poblados y 84 caseríos.



**Figura N°9. Ubicación del Distrito La Coipa**

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2018

De acuerdo al último censo realizado por el estado el INEI [4] reportó que al 2017 el Distrito La Coipa contaba con una población total de 21 210 de los cuales 2 421 pertenecen a la zona urbana y 18 789 pertenecen a la zona rural, así mismo, cuenta con una tasa de crecimiento anual de 0,84%, la Tabla 9 muestra la clasificación de la población por zona rural o urbana, por género y por grupos de edad.

**Tabla 9. Población total por área urbana y rural, y género del Distrito La Coipa**

Descripción	Total	Grandes grupos de edad			
		0 a 4 años	15 a 59 años	60 a 64 años	65 a más años
La Coipa	21 210	7 823	12 067	498	823
<b>Hombres</b>	11 225	4 140	6 386	263	435
<b>Mujeres</b>	9 985	3 683	5 680	234	387
Urbana	2 421	893	1 378	57	94
<b>Hombres</b>	1 282	473	729	30	50
<b>Mujeres</b>	1 140	420	649	27	44
Rural	18 789	6 930	10 689	441	729
<b>Hombres</b>	9 944	3 668	5 657	233	386
<b>Mujeres</b>	8 845	3 262	5 032	208	343

Fuente: En base a INEI, 2017

El crecimiento demográfico en el distrito La Coipa ha tenido una razón de 0,84% desde el año 2007 (año del penúltimo censo nacional) al año 2017 (año del último censo nacional), esta evolución se puede ver en la Figura N°10.

**Figura N°10. Crecimiento poblacional del año 2007 al año 2017 del Distrito La Coipa**

Fuente: En base a INEI, 2017

El distrito La Coipa cuenta con un clima [28] de veranos largos, muy calientes y mayormente nublados e inviernos cortos, secos y, en su mayoría, despejados. La temperatura oscila entre 18°C a 32°C, rara vez baja a menos de 16°C o sube a más de 35°C. Durante el transcurso del año las temporadas de mayor lluvia se presentan entre mayo a septiembre con una acumulación total promedio de 71 milímetros, en la

temporada sin lluvias la acumulación total promedio es de 3 milímetros. En cuanto a la corriente de vientos, el periodo de mayores vientos se presenta entre mayo a septiembre, con velocidades en promedio de 10,2 kilómetros por hora, el resto del año la velocidad del viento tiene un promedio de 7,4 kilómetros por hora.

Por otro lado, la principal actividad económica es la agricultura; el potencial de sus suelos para fines agropecuarios es de regular a bueno [6], por lo que cuenta con tierras aptas para la producción de cultivos transitorios y permanentes. El principal cultivo es el café, por ello depende en gran parte de la producción de este cultivo, con un mercado fluctuante es difícil mantenerse con ganancias estables que les permitan una buena solvencia económica. También son sembrados el maíz, frutales como el zapote, naranja, plátano, guaba, naranjilla, etc. pero en menor proporción. Otra de las actividades significativas es la ganadería, la cual es desarrollada para la venta y para el consumo familiar, esta es explotada en menor magnitud, ha ido decreciendo con el tiempo.

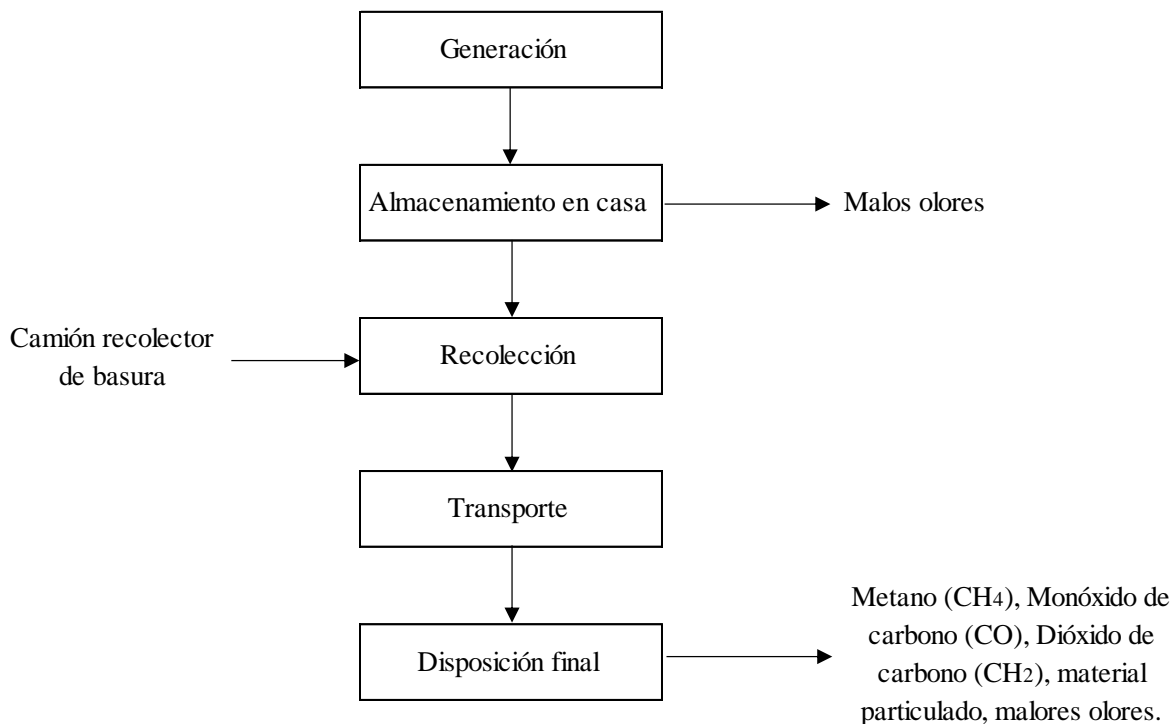
El distrito La Coipa cuenta con un establecimiento de salud de Nivel 1-I, por lo tanto, la complejidad de su atención solo le permite atender enfermedades comunes y leves. En el caso de tener una enfermedad crónica o severa, la población se encuentra obligada a recurrir a otras ciudades. En cuanto a la educación, la localidad cuenta principalmente con tres instituciones educativas de los niveles inicial, primario y secundario, solo nacionales; en la formación de los jóvenes se aprecia necesidad y debilidad académica, contando con una tasa de deserción, desinterés y falta de apoyo debido a la situación económica, falta de capacitación al personal docente y administrativo por parte del Ministerio de Educación, así mismo la falta de equipamiento mobiliario y carencia de mantenimiento de la infraestructura y servicios básicos.

### **3.1.2. Situación Actual del Manejo de Residuos Sólidos Municipales**

La gestión de los residuos sólidos municipales se considera como un sistema, es decir un conjunto de elementos interrelacionados entre sí en un entorno determinado [29]. Los elementos que interactúan actúan unidos para lograr un objetivo en común. A la actualidad la Municipalidad del Distrito La Coipa cuenta con escasos mecanismos de gestión de residuos sólidos, pues no cuenta con documentación que en un futuro puede incidir en fuertes multas; no cuenta con un Plan de Manejo ni Programas de Segregación; sólo cuentan con un Estudio de Caracterización y un Plan de Recojo de Inservibles, este

último sirve para brindar diariamente el servicio público de recojo de residuos a la población.

Así mismo, los residuos del ámbito municipal son tratados de acuerdo con la Figura N° 11. Diagrama de bloques del manejo de residuos municipales.



**Figura N° 11. Diagrama de bloques del manejo de residuos municipales**

Fuente: Elaboración propia

1. Generación: actividad inicial en la que se originan residuos.
2. Almacenamiento en casa: esta actividad consiste en mantener los residuos generados en el hogar hasta recibir el servicio de recojo de residuos.
3. Recolección: la recolección de residuos es un servicio brindado por la municipalidad a la población, este es realizado tres veces a la semana los días lunes, miércoles y viernes, sin embargo, no tienen ningún horario determinado, suelen realizar la actividad en la mañana, pero no en horas establecidas.
4. Transporte: consiste en trasladar los residuos hacia el lugar de disposición final, para realizar esta actividad cuentan con un camión de capacidad de 3 toneladas, y se ha asignado la labor a cuatro operarios y un conductor.
5. Disposición final: los residuos sólidos municipales son llevados a un botadero a cielo abierto, lugar que viene siendo utilizado para este fin desde hace doce años, sin las

medidas necesarias de un manejo adecuado, siendo una fuente de roedores, gallinazos, mosquitos y malos olores; por lo que, de manera empírica, se ha visto conveniente que cada cierto tiempo los desechos sean enterrados para disminuir los malos olores emanados. El botadero luce como se puede observar en las siguientes figuras.



**Figura N°12. Camión de basura desechando los residuos en el botadero.**

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019



**Figura N°13. Botadero a cielo abierto en el Distrito La Coipa**

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019

El botadero a cielo abierto tiene una extensión de 4 hectáreas, se encuentra ubicado como se muestra en la Figura N°14, a quince minutos de la zona urbana de La Coipa, se encuentra en el trayecto de la carretera que conecta a otros centros poblados.



LEYENDA	
Simbología	Descripción
●	Centros poblados
●	Botadero municipal

**Figura N°14. Ubicación del botadero a cielo abierto del Distrito La Coipa**

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019

Un botadero a cielo abierto es la tercera fuente más importante CH<sub>4</sub> después de los rumiantes, estimándose que representa el 16% de las emisiones globales de metano, además constituye la generación de mayores impactos, estos pueden ser identificados a través de diferentes enfoques. La matriz propuesta por L.B. Leopold, fue el primer método que estableció para evaluaciones de impacto ambiental, identificándolos según la valorización de dos aspectos, su magnitud e importancia.

En la Figura N°15. Matriz de Leopold de Evaluación de Impactos Ambiental del Botadero Municipal del Distrito La Coipa se ha evaluado de manera subjetiva en base a los impactos más notorios demostrados a través de las Hojas de campo en los **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al 4.

De la Matriz de Leopold de Evaluación de Impactos Ambientales del Botadero Municipal del Distrito podemos concluir lo siguiente, que la actividad más perjudicial es la de disposición final, influyendo en casi todos los factores ambientales de forma negativa, debido a la forma en que hoy realizan esta actividad ocasiona impactos como la salinización de los suelos, generación de gases de combustión y material particulado por la quema de los residuos; generan también gases de descomposición de forma natural, siendo estos altamente nocivos para el medio ambiente, así mismo ocasionan un mal aspecto que atrae a aves carroñeras, insectos transmisores de enfermedades y roedores. El almacenamiento en casa ocupa el segundo lugar como actividad perjudicial, a pesar de no tener un tiempo mayor a 2 días, pues el servicio de recolección se brinda 3 veces por semana, puede generar impactos negativos en la salud y seguridad de los ciudadanos, así como de aquellos que brindan el servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos, al no contar con los implementos necesarios de protección. Finalmente, las actividades de generación, transporte y recolección tienen menor incidencia en el impacto negativo total de la operación. Si bien no todos los impactos pueden ser eliminados, estos pueden ser mitigados a través de tecnologías de ingeniería, que permitan aprovechar los residuos.

Actualmente, la municipalidad distrital La Coipa brinda el servicio de recolección de residuos a la zona urbana del distrito, esta se divide en las zonas como se muestra en la Tabla 10. Distribución de viviendas en el Distrito La Coipa.

**Tabla 10. Distribución de viviendas en el Distrito La Coipa**

<b>Zona</b>	<b>Viviendas</b>	<b>Representación (%)</b>
<b>Miraflores</b>	58	12
<b>Barronegro</b>	54	11
<b>San Martín</b>	118	24
<b>La Coipa centro</b>	199	40
<b>Pueblo viejo</b>	28	5
<b>Pueblo nuevo</b>	20	4
<b>Choloque</b>	16	4
<b>TOTAL</b>	493	100

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019

MATRIZ DE LEOPOLD DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL BOTADERO MUNICIPAL DEL DISTRITO LA COIPA														
ACTIVIDADES DEL PROYECTO		ETAPAS DE OPERACIÓN					EVALUACIONES							
		A. Generación	B. Almacenamiento en casa	C. Recolección	D. Transporte	E. Disposición final	Promedios positivos	Promedios negativos	Impacto subcomponente	Impacto por componente	Impacto por componente			
FACTORES AMBIENTALES														
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	1. TIERRA	A. Salinización					-10	6		1	-60	-180	-1278	
		B. Erosión					-10	6		1	-60			
		C. Calidad de suelos					-10	6		1	-60			
	2. AGUA	A. Subterráneas					-7	6		1	-42	-84		
		B. Calidad del agua					-7	6		1	-42			
	3. AIRE	A. Material particulado	-4	3	-4	3			-8	6	3	-72		-384
		B. Gases de descomposición	-4	3	-4	3			-9	6	3	-78		
		C. Gases de combustión	-4	3	-4	3			-9	6	2	-66		
		D. Ruido			-5	4	-5	5	-6	6	3	-81		
		E. Olores	-4	3	-5	3			-10	6	3	-87		
B. CONDICIONES BIOLÓGICAS	1. FLORA	A. Árboles						-6	6	1	-36	-210		
	2. FAUNA	A. Presencia de gallinazos						-9	6	1	-54			
		B. Roedores	-4	3	-4	3			-9	6	3		-78	
C. FACTORES CULTURALES	1. ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	C. Insectos portadores de enfermedades	-4	3	-4	3			-9	6	3	-78	-144	
		A. Vistas panorámicas y paisajes			-6	4			-10	6	2	-84		
	2. NIVEL CULTURAL	B. Espacio abierto							-10	6	1	-60	-198	
		A. Estilos de vida	-6	6	-6	6			-9	6	3	-126		
		B. Salud y seguridad			-8	6	-8	6	-8	6	3	-144		
	3. SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA	C. Empleo			4	6	4	6	4	6	3	72	-126	
		A. Disposición de residuos	-5	6	-5	6	-5	6			4	-120		
	D. ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS	B. Red de transportes			-1	6					1	-6	48	
		A. Economía	6	6	6	6	6	6	-4	6	3	84		
	Promedios positivos							1		2	2	1	6	
Promedios negativos							8	8	4	3	19	41		
Promedios aritméticos							-66	-153	-44	-43	-924			

Figura N°15. Matriz de Leopold de Evaluación de Impactos Ambiental del Botadero Municipal del Distrito La Coipa

Fuente: Elaboración propia

Para brindar el servicio de recojo de basura a la población, la municipalidad invierte alrededor de S/.261 193 de forma anual como se puede ver en la Tabla 11, en este presupuesto se consideran los salarios a los operarios que realizan la actividad, así como los implementos que se les brinda para su seguridad y el combustible para el transporte; también se tiene los costos de uniformes y herramientas de trabajo, que usualmente son cambiadas conforme pasa el tiempo. Si bien se les entrega implementos, estos no son utilizadas debido a que les incomoda para realizar sus actividades, así mismo, por el escaso control del personal y la falta de capacitaciones esta es una acción que pasa desapercibida.

**Tabla 11. Presupuesto para realizar la recolección de residuos municipales anualmente en el Distrito La Coipa**

N°	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Anual (S/.)
1	Uniformes	17	S/.57,00	S/.969,00
2	Lampas	5	S/.20,00	S/.100,00
3	Escobas	12	S/.12,00	S/.144,00
4	Contenedores de basura	6	S/.160,00	S/.960,00
5	Mascarillas de seguridad industrial	17	S/.5,00	S/.340,00
6	Guantes de Jebe	100	S/.350,00	S/.1 400,00
7	Alquiler de camión	1	S/.550,00	S/.6 600,00
8	Combustible	25	S/.10,00	S/.3 000,00
9	Bidones de 20L de agua mineral	24	S/.10,00	S/.2 880,00
10	Salario a los operarios	17	S/.1 200,00	S/.244 800,00
<b>GASTOS TOTALES</b>				<b>S/.261 193,00</b>

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019

Actualmente la municipalidad no ha incluido ningún tipo de impuesto relacionado al servicio de recolección y limpieza de vías públicas a los pobladores. Sin embargo, en el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos [6] muestra los resultados de la encuesta “Está satisfecho con el servicio de recojo de basura” en el que se pudo determinar que el 53,97% de hogares estarían dispuestos a pagar por un mejor servicio de limpieza pública y recojo de residuos.

### 3.1.3. Caracterización de los Residuos Sólidos Municipales del Distrito La Coipa

La Municipalidad del Distrito La Coipa cuenta con un Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos [6] que muestra la composición de los residuos domiciliarios, los no domiciliarios y los residuos municipales, entre otros detalles. La

Tabla 12 muestra la composición de los residuos sólidos domiciliarios, estos cuentan con un porcentaje de 69,92% de material orgánico, siguiendo los residuos sanitarios con 9,83%, residuos inertes con 2,87%, plástico duro con el 2,57%, latas en un 2,18%, las bolsas (plástico no rígido) con el 2,53% y cartón con 2,32%.

**Tabla 12. Composición de los residuos sólidos domiciliarios del Distrito La Coipa**

Tipo de Residuos Sólidos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total	Representación %
1 Materia orgánica	80,94	77,57	47,56	89,5	79,58	58,79	79,63	513,6	69,92%
2 Madera, follaje	0,000	0,000	0,350	0,00	0,22	0,00	0,00	0,57	0,08%
3 Papel	1,22	0,94	1,83	4,45	0,28	0,86	0,42	10	1,36%
4 Cartón	2,28	1,01	1,57	3,93	1,15	5,37	1,75	17,06	2,32%
5 Vidrio	4,71	0,00	0,13	0,77	0,94	1,79	1,09	9,43	1,28%
6 Plástico PET	0,00	1,33	0,52	3,51	0,75	2,16	2,12	10,39	1,41%
7 Plástico duro	5,96	1,35	1,65	2,89	2,16	4,6	0,28	18,89	2,57%
8 Bolsas	2,75	2,8	0,66	2,49	4,6	3,45	1,81	18,56	2,53%
9 Tetrapak	0,17	0,00	0,06	1,12	3,45	0,00	0	4,8	0,65%
10 Tecnopor y similares	0,18	0,24	0,22	2,24	0,77	0,19	0,73	4,57	0,62%
11 Metal	0,06	0,37	0,06	1,65	0,19	1,63	0,04	4	0,54%
12 Telas, textil	0,25	0,75	0,34	0,62	0,84	0,01	0,58	3,39	0,46%
13 Caucho, cuero y jebe	0,74	0,00	0,43	0,49	1,63	0,00	0,34	3,63	0,49%
14 Pilas	0,00	0,1	0,06	0,61	0,00	0,00	0,00	0,77	0,10%
15 Restos de medicina	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01%
16 Residuos sanitarios	9,61	8,75	8,48	18,66	9,75	8,9	8,03	72,18	9,83%
17 Residuos inertes	4,26	7,54	2,42	2,67	2,11	0,81	1,24	21,05	2,87%
18 Envolturas	0,57	0,43	0,26	0,54	0,58	0,54	2,68	5,6	0,76%
19 Latas	3,22	2,86	1,68	2,38	1,39	2,3	2,2	16,03	2,18%
20 RAEE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,00%
21 Huesos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,00%
22 Otros	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>116,9</b>	<b>106</b>	<b>68,28</b>	<b>138,6</b>	<b>110,4</b>	<b>91,4</b>	<b>102,9</b>	<b>734,6</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2017

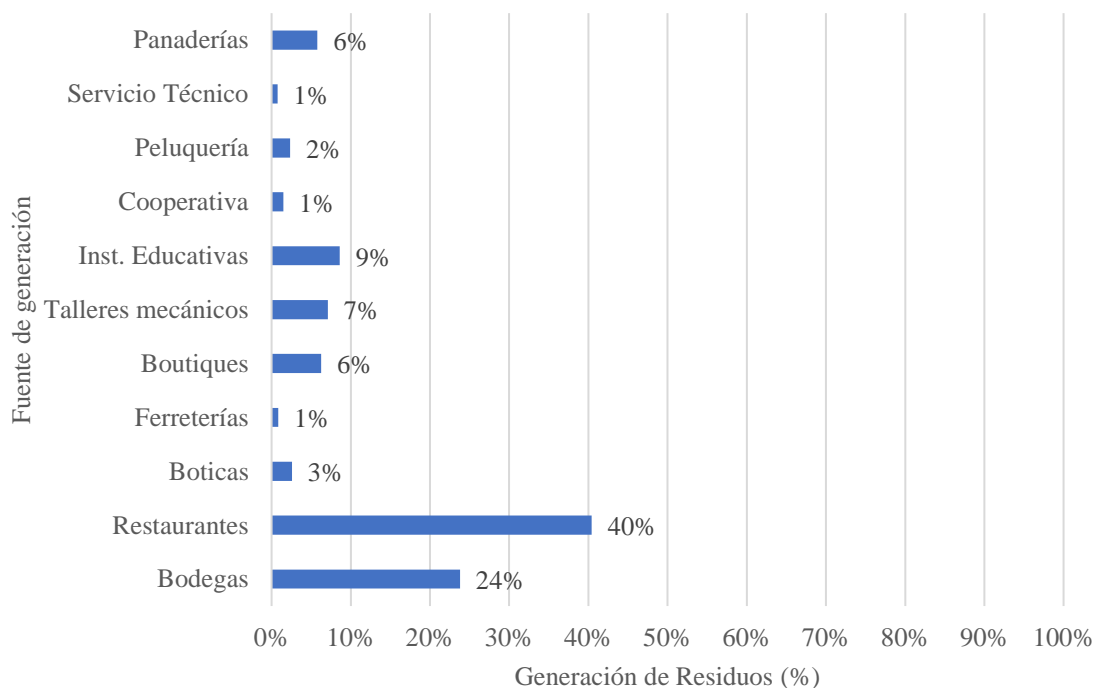
Así mismo, también se tienen residuos no domiciliarios que provienen de las diferentes actividades económicas de la zona, la Tabla 13 contiene las cantidades de residuos no domiciliarios de diferentes actividades como son: comercio, restaurantes, instituciones educativas, boutiques, talleres mecánicos, peluquerías, cooperativas, panaderías, servicio técnico y ferretería, también son recolectados los residuos del establecimiento de salud. Además, se generan residuos por las actividades por el mantenimiento de áreas verdes y el barrido de calles, las que son realizadas por el municipio en cumplimiento de su Plan Anual de Recojo de Inservibles. La recolección de los residuos es realizada 3 veces por semana, 5 operarios realizan esta actividad, suele realizarse en las mañanas.

**Tabla 13. Generación de residuos no domiciliarios por tipo de actividad económica en el Distrito La Coipa**

Fuente de Generación	Generación Total (Promedio diario) (kg/día)	Número de establecimientos	Generación distrital total por Fuente de generación (kg/día)
Bodegas	3,686	14	51,604
Restaurantes	7,97	11	87,67
Boticas	0,698	8	5,584
Ferreterías	1,864	1	1,864
Boutiques	2,713	5	13,565
Talleres mecánicos	3,083	5	15,415
Inst. Educativas	6,229	3	18,687
Cooperativa	1,07	3	3,21
Peluquería	1,699	3	5,097
Servicio Técnico	0,827	2	1,654
Panaderías	3,136	4	12,544
Total de residuos sólidos no domiciliarios en el distrito La Coipa			216,894

Fuente: Municipalidad La Coipa, 2017

Cabe resaltar que la Municipalidad Distrital cumple con los servicios de barrido de calles, la cual es diaria, y el mantenimiento de áreas verdes, que es realizada una vez al mes. La siguiente figura, muestra la gráfica de representatividad de las diferentes fuentes de generación de residuos sólidos no domiciliarios, de lo que podemos concluir que son los restaurantes los que contribuyen más.



**Figura N°16. Fuentes de generación de Residuos Sólidos No Domiciliarios**

Fuente: Municipalidad del Distrito La Coipa, 2017

El barrido de calles es realizado por un total de 12 operarias en las diferentes zonas del área urbana del Distrito. La generación de los residuos sólidos no domiciliarios provenientes de las actividades mencionadas es descrita en Tabla 14 como se muestra a continuación.

**Tabla 14. Generación de los residuos sólidos no domiciliarios en el Distrito La Coipa**

Actividad	kg/día	t/día	t/mes	t/Año
Barrido	28,639	0,029	0,859	10,310
Poda de áreas verdes	56,426	0,056	1,693	20,313
<b>Total</b>	<b>85,065</b>	<b>0,085</b>	<b>2,552</b>	<b>30,623</b>

Fuente: Municipalidad del Distrito La Coipa, 2017

La composición de los residuos sólidos no domiciliarios es presentada en Tabla 15 , presentando un 64,12% de materia orgánica, 7,66% son residuos sanitarios, 5,70% de cartón, 5,78% son residuos inertes, 3,51% son bolsas, 3,01% son latas y 2,29% es representado por el papel.

**Tabla 15. Composición de residuos sólidos no domiciliarios en el Distrito La Coipa**

Tipo de Residuos Sólidos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total	Representación %
<b>1</b> Materia orgánica	52,86	48,81	23,16	74,07	56,55	69,86	81,59	406,9	64,12%
<b>2</b> Madera, follaje	0,000	0,000	0,000	0,16	0,12	0,00	0,00	0,28	0,04%
<b>3</b> Papel	3,02	0,09	0,89	6,49	1,77	1,33	0,92	14,51	2,29%
<b>4</b> Cartón	3,97	1,25	2,18	14,39	2,9	5,88	5,58	36,15	5,70%
<b>5</b> Vidrio	0,00	0,00	0,45	1,32	0,00	0,65	0,58	3	0,47%
<b>6</b> Plástico PET	2,37	0,34	0,74	4,4	0,92	0,58	1,66	11,01	1,73%
<b>7</b> Plástico duro	2,67	0,71	0,83	5,26	1,48	0,86	2,2	14,01	2,21%
<b>8</b> Bolsas	4,14	1,38	2,84	4,78	2,55	2,29	4,32	22,3	3,51%
<b>9</b> Tetrapak	0,65	0,17	0,07	0,58	0,38	0,00	0,33	2,18	0,34%
<b>10</b> Tecnopor y similares	0,49	0,05	0,04	0,37	0,22	0,16	0,15	1,48	0,23%
<b>11</b> Metal	0,95	0,00	0,17	0,58	0,00	0,00	0,22	1,92	0,30%
<b>12</b> Telas, textil	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,23	0,04%
<b>13</b> Caucho, cuero y jebe	0,00	0,00	0,00	8,1	0,00	0,70	0,00	8,8	1,39%
<b>14</b> Pilas	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,58	0,09%
<b>15</b> Restos de medicina	0,29	0,00	0,08	0,00	0,18	0,00	0,70	1,25	0,20%
<b>16</b> Residuos sanitarios	8,03	3,82	5,81	13,34	7,97	9,27	0,39	48,63	7,66%
<b>17</b> Residuos inertes	8,58	4,1	2,43	5,7	2,24	9,31	4,31	36,67	5,78%
<b>18</b> Envolturas	0,57	0,43	0,26	0,54	0,58	0,54	2,68	5,6	0,88%
<b>19</b> Latas	3,22	0,26	2,6	1,89	1,02	0,42	9,67	19,08	3,01%
<b>20</b> RAEE	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01%
<b>21</b> Huesos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00%
<b>22</b> Otros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00%
<b>TOTAL</b>	<b>91,81</b>	<b>61,65</b>	<b>42,55</b>	<b>142,2</b>	<b>78,88</b>	<b>102,2</b>	<b>115,3</b>	<b>634,6</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Municipalidad del Distrito La Coipa, 2017

De manera general, se presenta la composición de los residuos sólidos municipales generados en el distrito La Coipa, como se muestra en la Tabla 9, de la que podemos decir que predomina el material orgánico con 67,23%, después se encuentra los residuos sanitarios con 8,82%, continúan los residuos inertes con 4,22%, cartón con el 3,89%, bolsas con 2,98%, latas con 2,56% y plástico duro con 2,40%. Se puede observar una cantidad apreciable de residuos reciclables los que podrían ser recuperados, si se tomaran las medidas necesarias.

**Tabla 16. Composición de los residuos sólidos Municipales del Distrito La Coipa**

Tipo de Residuos Sólidos	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total	Representación %
1 Materia orgánica	133,8	126,4	70,7	163,6	136,1	128,7	161,2	920,5	57%
2 Madera, follaje	85,1	28,6	29,0	28,8	29,0	28,6	28,6	257,7	16%
3 Papel	4,2	1,0	2,7	10,9	2,1	2,2	1,3	24,5	2%
4 Cartón	6,3	2,3	3,8	18,3	4,1	11,3	7,3	53,2	3%
5 Vidrio	4,7	0,0	0,6	2,1	0,9	2,4	1,7	12,4	1%
6 Plástico PET	2,4	1,7	1,3	7,9	1,7	2,7	3,8	21,4	1%
7 Plástico duro	8,6	2,1	2,5	8,2	3,6	5,5	2,5	32,9	2%
8 Bolsas	6,9	4,2	3,5	7,3	7,2	5,7	6,1	40,9	3%
9 Tetrapak	0,8	0,2	0,1	1,7	3,8	0,0	0,3	7,0	0%
10 Tecnopor y similares	0,7	0,3	0,3	2,6	1,0	0,4	0,9	6,1	0%
11 Metal	1,0	0,4	0,2	2,2	0,2	1,6	0,3	5,9	0%
12 Telas, textil	0,3	0,8	0,3	0,9	0,8	0,0	0,6	3,6	0%
13 Caucho, cuero y jebe	0,7	0,0	0,4	8,6	1,6	0,7	0,3	12,4	1%
14 Pilas	0,0	0,3	0,1	0,6	0,0	0,4	0,0	1,4	0%
15 Restos de medicina	0,3	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,7	1,3	0%
16 Residuos sanitarios	17,6	12,6	14,3	32,0	17,7	18,2	8,4	120,8	7%
17 Residuos inertes	12,8	11,6	4,9	8,4	4,4	10,1	5,6	57,7	4%
18 Envolturas	1,1	0,9	0,5	1,1	1,2	1,1	5,4	11,2	1%
19 Latas	6,4	3,1	4,3	4,3	2,4	2,7	11,9	35,1	2%
20 RAEE	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0%
21 Huesos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%
22 Otros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>293,8</b>	<b>196,3</b>	<b>139,5</b>	<b>309,4</b>	<b>217,9</b>	<b>222,3</b>	<b>246,9</b>	<b>1626,1</b>	<b>100%</b>

Fuente: Municipalidad del Distrito La Coipa, 2017

A partir de la información presentada previamente, se realizó la proyección de los residuos sólidos generados en el Distrito La Coipa, zona urbana. Se muestran los residuos domiciliarios, no domiciliarios y municipales, del año 2017 al año 2034, dicha proyección será necesaria en los próximos cálculos en el desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 17. Proyección de Residuos Sólidos del Distrito La Coipa**

Año	Población Urbana del Distrito (hab)	GPC domiciliaria (kg/hab/día)	Generación Domiciliaria (kg/día)	GPC No domiciliaria (kg/hab/día)	Generación No Domiciliaria (kg/día)	GPC municipal (kg/hab/día)	Generación Municipal (kg/día)
2017	2 421,40	0,48	1 154,96	0,50	1 219,60	1,06	2 556,75
2018	2 513,27	0,48	1 198,78	0,50	1 265,87	1,06	2 653,75
2019	2 608,63	0,48	1 244,27	0,50	1 313,90	1,06	2 754,44
2020	2 707,61	0,48	1 291,48	0,50	1 363,75	1,06	2 858,95
2021	2 810,34	0,48	1 340,48	0,50	1 415,49	1,06	2 967,42
2022	2 916,96	0,48	1 391,34	0,50	1 469,20	1,06	3 080,01
2023	3 027,64	0,48	1 444,12	0,50	1 524,94	1,06	3 196,87
2024	3 142,51	0,48	1 498,92	0,50	1 582,80	1,06	3 318,16
2025	3 261,74	0,48	1 555,79	0,50	1 642,86	1,06	3 444,06
2026	3 385,50	0,48	1 614,82	0,50	1 705,19	1,06	3 574,73
2027	3 513,95	0,48	1 676,09	0,50	1 769,89	1,06	3 710,36
2028	3 647,27	0,48	1 739,68	0,50	1 837,04	1,06	3 851,14
2029	3 785,66	0,48	1 805,68	0,50	1 906,74	1,06	3 997,26
2030	3 929,29	0,48	1 874,19	0,50	1 979,08	1,06	4 148,92
2031	4 078,37	0,48	1 945,30	0,50	2 054,17	1,06	4 306,34
2032	4 233,11	0,48	2 019,11	0,50	2 132,11	1,06	4 469,72
2033	4 393,72	0,48	2 095,72	0,50	2 213,01	1,06	4 639,31
2034	4 560,43	0,48	2 175,23	0,50	2 296,97	1,06	4 815,33

Fuente: Municipalidad del Distrito La Coipa, 2017

Como se puede ver en la tabla presentada previamente se incluyó la generación per cápita de residuos sólidos no domiciliarios y municipales, pues aquellos residuos que finalmente gestiona la municipalidad son los de generación municipal que incluyen los residuos generados a partir del barrido de calles y la poda de áreas verdes de La Coipa.

El diagnóstico de la actual gestión de los residuos sólidos municipales en el Distrito La Coipa, muestra que cuenta con un sistema precario el cual está compuesto por actividades sujetas a mejoras, así mismo, la municipalidad no cumple con contar con documentos de gestión que por ley debe tener y de ser sometida a una fiscalización está expuesta a multas por el incumplimiento de la normatividad aplicable. Además, actualmente no cobra ningún tipo de impuesto por brindar el servicio de recolección de residuos sólidos municipales. Por otro lado, la caracterización de los residuos muestra un valor de materia orgánica mayoritario frente a los demás compuestos de los residuos de los pobladores del Distrito La Coipa, indicando que estos pueden ser aprovechados energéticamente.

## **3.2. Demanda Energética del Distrito La Coipa**

### **3.2.1. Diseño del instrumento de medición**

El instrumento elegido para la medición de la demanda energética del distrito La Coipa se trata de una encuesta, su principal propósito consiste en el planteamiento de un conjunto de preguntas diseñadas para generar los datos necesarios, para de esta manera alcanzar los objetivos de la investigación. Por lo que permitirá conocer el acceso con el que se cuenta al servicio de electricidad, así como el consumo promedio mensual de los hogares de acuerdo con el tipo de vivienda que ocupan, los miembros en el hogar y los tipos de electrodomésticos con los que cuentan. Se ha incluido también preguntas relacionados a la fuente primaria y secundaria con la que cocinan sus alimentos, pues se busca conocer en qué porcentaje aún son utilizados los combustibles fósiles y el gasto al que está relacionado, como potencial de concientización por optar consumo eléctrico y abandonar este tipo de fuentes energéticas. El esquema de la encuesta que se puede observar en el Anexo 6. Ficha de Registro sobre Demanda Energética en el Distrito La Coipa, este documento fue validado por una ingeniera experta en el área de investigación, aprobando su posterior aplicación para el fin correspondiente, para ello ver el Anexo 7. Validez de instrumento de investigación.

### **3.2.2. Determinación de la muestra y procedimiento de muestreo para la aplicación de la encuesta**

Para obtener resultados confiables a partir del instrumento de medición es necesario también determinar la porción de población representativa que brindará la información pertinente al objetivo planteado. De acuerdo con Bernal [30] existen varias clasificaciones para los métodos de muestreo, de manera global se encuentran la muestra probabilística y la no probabilística, para la presente investigación es necesario la muestra probabilística debido a que cada elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido, pudiendo evaluar la representatividad de la muestra, permitiendo generalizar los resultados, además se puede conocer el error muestral, así como el nivel de precisión de las estimaciones y el nivel de confianza. Del muestreo probabilístico se hizo una combinación del tipo de muestreo aleatorio simple junto con el muestreo sistemático, del primero obtuvimos la muestra, cantidad de personas a encuestar, y del segundo el método por el que se seleccionan a estas personas.

Primero se identificó la población, la que es conocida o finita y la variable objeto de medición en este caso se denomina “Consumo promedio mensual de energía eléctrica”, la que es una variable cuantitativa, por lo que el valor del error de estimación es máximo 10%, valor estimado con base en el valor de la media.

Después se determinó la desviación estándar de la población, a partir de los resultados de la realización de una “muestra piloto”, para 10 personas.

**Tabla 18. Tabla de resultados de muestra piloto**

Nº de encuestas	Consumo promedio (kWh)/mes
1	38,62
2	40,59
3	41,20
4	43,80
5	49,98
6	51,15
7	65,98
8	43,58
9	75,00
10	48,60
Promedio	<b>49,85</b>

Fuente: La Coipa, 2019

Luego, de acuerdo a Bernal [30] se estima el valor de la desviación estándar mediante la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{prom})^2 / n_0 - 1}$$

Donde:

S: desviación estándar de la muestra piloto.

X<sub>i</sub>: consumo promedio mensual de cada una de las personas encuestadas en la muestra piloto.

X<sub>prom</sub>: gasto promedio del conjunto de las personas encuestadas de la muestra piloto.

n<sub>0</sub>: número de personas entrevistadas en la muestra piloto.

$$S = \sqrt{1258,57/9}$$

La desviación resulta en 11,83; por lo que se define como una población homogénea pues su valor resulta ser menor o igual al 30%, además, se considera un E (error de estimación) de 5%, y se recomienda usar un nivel de confianza de 95%.

Por lo tanto, de la prueba piloto y con los datos obtenidos se estima la muestra de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{S^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{S^2}{N}}$$

$$n = \frac{11,83^2}{\frac{(0,05 * 49,85)^2}{1,96^2} + \frac{11,83^2}{2513}}$$

$$n = 83$$

Ahora como ya se sabe cuál es la muestra y la cantidad de personas a las que se aplicará la encuesta, es necesario realizar una distribución por cada zona, la Municipalidad brindó datos sobre la representatividad de cada arrabal de la zona urbana del Distrito La Coipa.

**Tabla 19. Distribución para aplicación de encuestas en el Distrito La Coipa**

Zona	Viviendas	Representación
Miraflores	10	12%
Barronegro	9	11%
San Martín	20	24%
La Coipa centro	33	40%
Pueblo viejo	4	5%
Pueblo nuevo	3	4%
Choloque	3	4%
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>	<b>100%</b>

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2019

Para la elección de los hogares a encuestar el procedimiento a aplicar fue aleatorio sistemático, a partir de las muestras por zona se tuvo en cuenta el k hallado, esta variable nos indica que cada que pasen k hogares se debe aplicar la encuesta, de manera que los resultados reflejen el objetivo planteado.

**Tabla 20. Determinación de k para la aplicación de encuestas en el Distrito La Coipa**

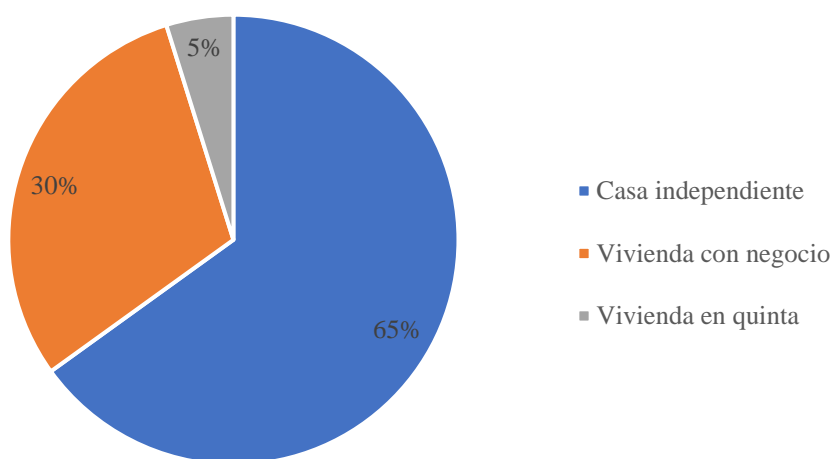
Zona	N	n	k
Miraflores	58	9	6
Barronegro	54	9	6
San Martín	118	19	6
La Coipa centro	199	33	6
Pueblo viejo	28	4	7
Pueblo nuevo	20	3	6
Choloque	16	3	5
<b>TOTAL</b>	<b>493</b>	<b>83</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. Análisis de los resultados del instrumento de medición

La encuesta fue aplicada en dos fines de semana diferentes, de acuerdo a lo planteado en el diseño del procedimiento del muestreo, bajo el método sistemático, de forma independiente para cada zona.

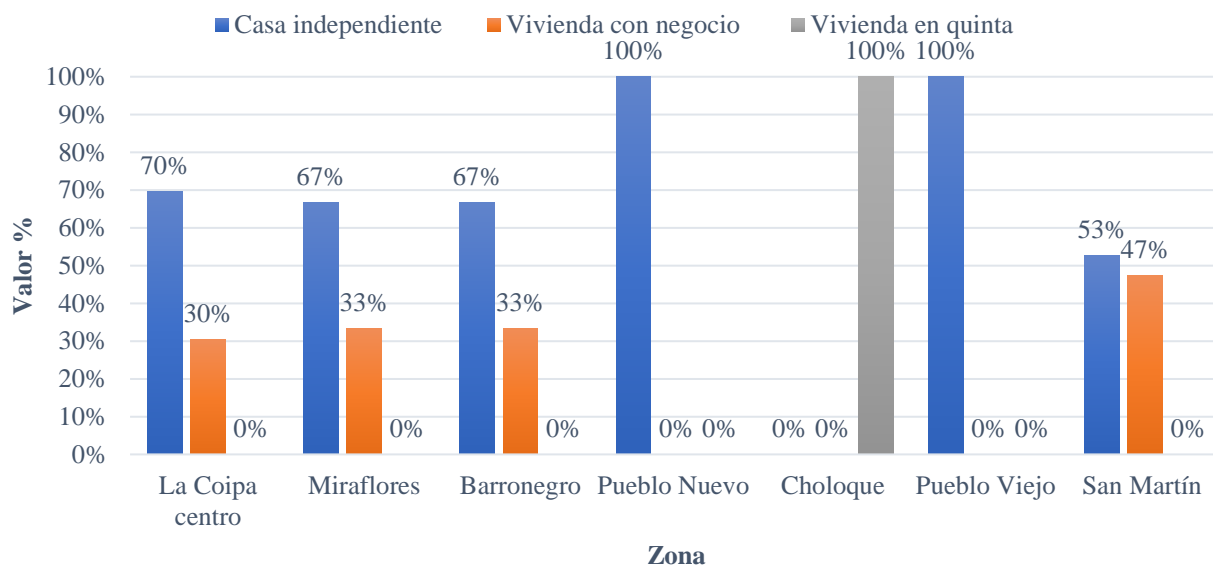
El tipo de vivienda a los que la Municipalidad brinda el servicio de recojo de basura son principalmente casas independientes, representando un 65%, en menor cantidad los hogares son viviendas con negocio en un 30%, además el servicio es brindado a muy pocos que ocupan viviendas en quinta, por la dificultad de acceso directo al hogar, estas viviendas representan un 5% únicamente.



**Figura N° 17: Tipo de vivienda de los pobladores de la Municipalidad Distrital La Coipa**

Fuente: La Coipa, 2019

Asimismo, la figura siguiente muestra distribución de tipos de hogares por cada zona, pues esta es una característica que permite reconocer la diferencia de consumo de energía la que puede ser contrastada más adelante en la distribución de consumo de energía por zonas.



**Figura N° 18: Tipo de vivienda de los pobladores distribuido por zona del Distrito La Coipa**

Fuente: La Coipa, 2019

En un 10% estos hogares son constituidos por un rango de entre 1 a 3 miembros, en 54% están constituidos por un rango entre 4 a 6 miembros; un 15% están constituidos por un rango de 7 a 9 miembros y finalmente un 5% cuentan con más de 9 miembros, este último caso se trata de las casas que cuentan con alquiler de cuartos. Así mismo, los hogares que cuentan con entre 1 a 3 ambientes en el hogar son un 7%, aquellos que cuentan con ambientes entre 4 a 6 son un 76%, con ambientes de 7 a 9 son 8%, el 9% restante cuenta con más de 10 habitaciones en sus hogares, estos hogares en su mayoría son las casas de alquiler antes mencionadas.

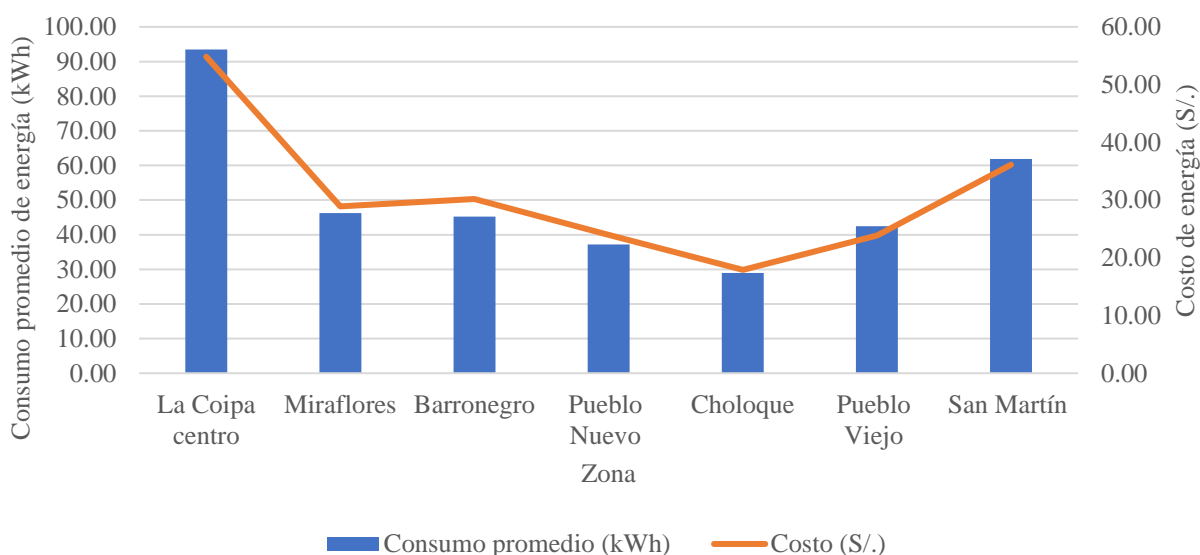
El 100% de los pobladores que cuentan con el servicio de recojo de basura si cuentan con servicio de alumbrado público, así como el acceso al servicio de electricidad dentro de su hogar. El consumo y gasto promedio de los hogares en el Distrito La Coipa, muestran una distribución como se ve en la Tabla 21.

**Tabla 21. Consumo promedio mensual por hogar de acuerdo a zona de ubicación**

Zona	Consumo promedio (kWh)	Costo (S./.)
La Coipa centro	93,49	54,84
Miraflores	46,25	28,89
Barronegro	45,18	30,18
Pueblo Nuevo	37,22	23,96
Choloque	28,94	17,91
Pueblo Viejo	42,42	23,88
San Martín	61,86	36,14
Promedio	<b>50,76</b>	<b>30,83</b>

Fuente: La Coipa, 2019

En la Figura N°19 se puede observar el contraste entre el consumo promedio de energía por los pobladores del Distrito La Coipa, y el costo asumido por este consumo, cabe recalcar que la empresa Electro Oriente les cobra bajo el régimen tarifario BT5B con simple medición de energía. Todos los pobladores reciben el acceso a energía eléctrica a través de la empresa de servicio público Electro Oriente, quien da cobertura a esta zona del país.

**Figura N°19: Contraste entre consumo y costo de energía eléctrica en La Coipa**

Fuente: La Coipa, 2019

El 70% de los pobladores utilizan entre 1 a 5 electrodomésticos en su hogar, un 10% utilizan entre 6 a 10 electrodomésticos y el 20% restante no cuenta con este tipo de artefactos.

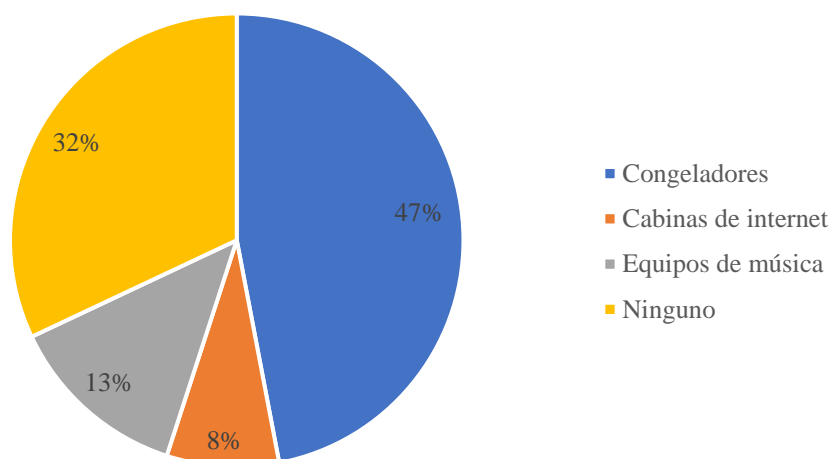
Así mismo entre los usos de electricidad en el hogar se encuentran alumbrarse, conservar los alimentos, calefacción y duchas eléctricas. Los diferentes usos son requeridos de manera porcentual como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 22. Usos de electricidad en el hogar**

Opción	%
Alumbrarse	100
Artefactos electrodomésticos	80
Conservación de los alimentos	60
Duchas eléctricas	20

Fuente: La Coipa, 2019

Aquellos que cuentan con negocios en sus hogares cuentan con un consumo mayor ya que como se puede ver en la Figura N°20, de los negocios a los que se les aplicó la encuesta, el 47% cuenta con congeladores y un 32% no hace uso extra de electricidad en su negocio, así mismo, un 13% utiliza equipos de música, y un 8% brinda el servicio de internet.

**Figura N°20: Uso de electricidad en viviendas con negocio en el Distrito La Coipa**

Fuente: La Coipa, 2019

La fuente principal para la cocción de sus alimentos es en un 92% balón de gas, el 8% utiliza leña o madera vegetal como fuente principal para la cocción de sus alimentos, sin embargo, de aquel porcentaje que marcó el balón de gas como fuente principal, existe un 15% que aún utiliza leña o madera vegetal como fuente secundaria, en su mayoría estas personas cuentan con fácil acceso a esta fuente, pues la adquieren de sus propios terrenos, por lo que no incurren en costos significativos, así mismo.

### 3.2.4. Demanda energética en las Instituciones Públicas en el Distrito La Coipa

El Distrito La Coipa cuenta con tres instituciones de educación, para los tres niveles básicos, así mismo tiene un centro de salud, la municipalidad y el parque principal que se encuentra

en la zona céntrica de La Coipa. Las instituciones de nivel inicial, primario y secundario tuvieron un consumo de energía durante el año 2018 como se muestran a continuación mes a mes, así mismo, se muestran gráficas para observar los incrementos de consumo a lo largo del año.

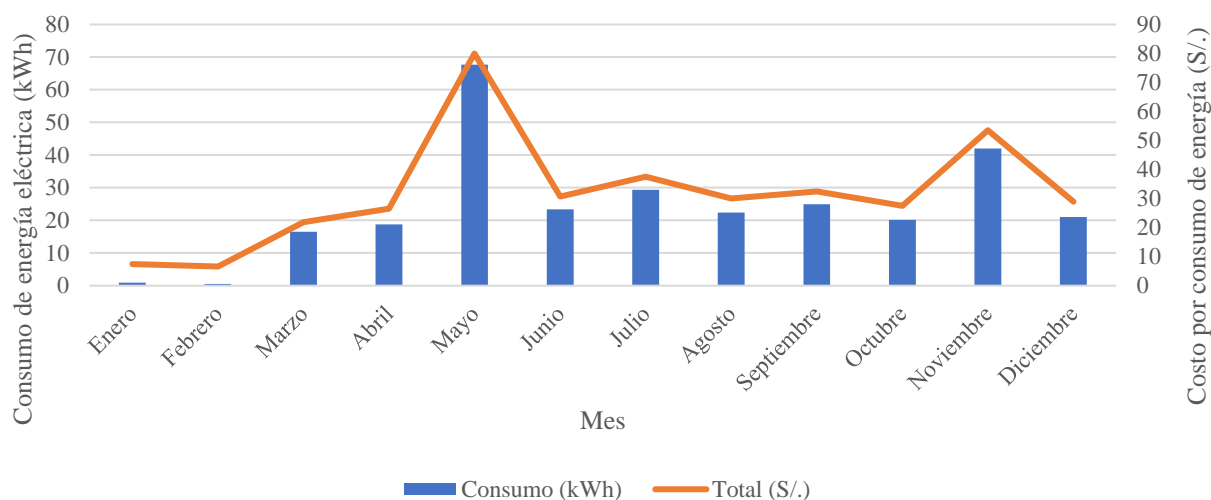
En la Tabla 23 se pueden observar los consumos de la Institución Educativa Inicial durante todo el año 2018.

**Tabla 23. Consumo de energía eléctrica en la Institución Educativa Inicial durante el año 2018**

Mes	Consumo (kWh)	Interés (S/.)	Mora (S/.)	Concepto (S/.)	Total (S/.)
<b>Enero</b>	0,90	0,11	0,01	7,28	7,40
<b>Febrero</b>	0,50	0,01	0,00	6,59	6,60
<b>Marzo</b>	16,5	0,01	0,00	21,89	21,9
<b>Abril</b>	18,8	0,01	0,00	26,49	26,5
<b>Mayo</b>	67,7	0,02	0,00	79,98	80,0
<b>Junio</b>	23,4	0,10	0,00	30,60	30,7
<b>Julio</b>	29,4	0,04	0,00	37,46	37,5
<b>Agosto</b>	22,4	0,08	0,00	29,92	30,0
<b>Septiembre</b>	24,9	0,09	0,00	32,41	32,5
<b>Octubre</b>	20,1	0,10	0,01	27,39	27,5
<b>Noviembre</b>	42,0	0,10	0,01	53,39	53,5
<b>Diciembre</b>	21,0	0,11	0,00	28,89	29,0
<b>TOTAL</b>	287,6				383,1

Fuente: Electro Oriente S.A.

A continuación, en la siguiente figura se puede ver de forma gráfica el incremento del consumo de energía de la institución educativa inicial, donde se puede notar un consumo bastante bajo los meses de enero y febrero, esto debido principalmente a que en estos meses solo asiste el personal de limpieza, no se realizan actividades adicionales, así mismo se trata de una institución bastante pequeña con un área de 825 m<sup>2</sup>, la que cuenta únicamente con 7 aulas, y no cuenta con equipamiento electrónico propio, sin embargo, el personal si hace uso de sus equipos electrónicos personales para mejorar la calidad de sus actividades.



**Figura N°21: Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa Inicial de La Coipa durante el 2018**

Fuente: Electro Oriente S.A., 2019

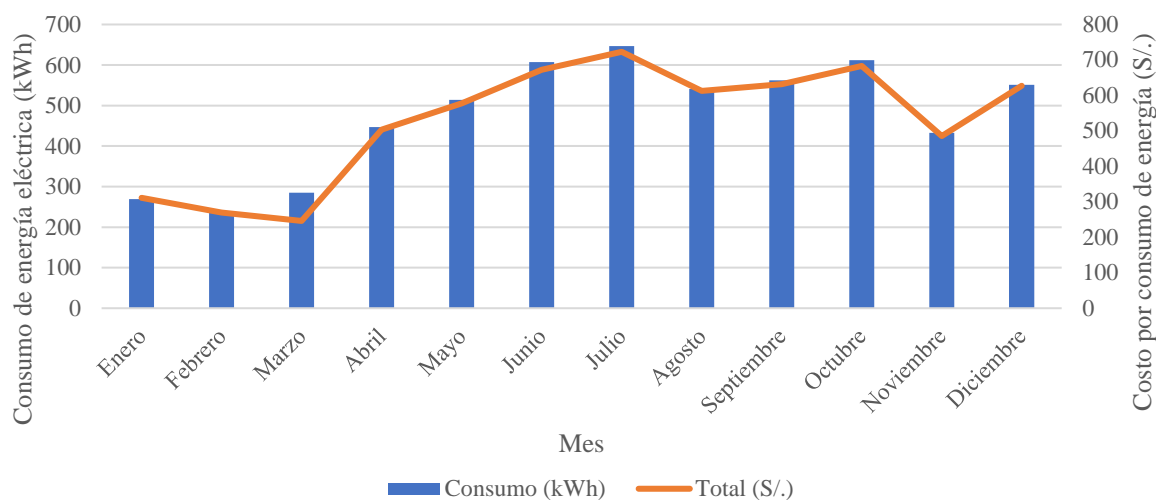
En la Tabla 24 se pueden observar los consumos de energía eléctrica de la Institución Educativa César Vallejo, la que corresponde al nivel secundario, durante todo el año 2018.

**Tabla 24. Consumo de energía eléctrica en la Institución Educativa César Vallejo Mendoza durante el año 2018**

Mes	Consumo (kWh)	Interés (S/.)	Mora (S/.)	Concepto (S/.)	Total (S/.)
<b>Enero</b>	269,10	2,52	0,17	308,72	311,41
<b>Febrero</b>	236,50	0,38	0,16	268,80	269,34
<b>Marzo</b>	284,70	0,31	0,02	245,79	246,12
<b>Abril</b>	446,70	0,06	0,00	503,74	503,80
<b>Mayo</b>	514,40	0,44	0,00	577,26	577,70
<b>Junio</b>	607,00	0,76	0,00	671,14	671,90
<b>Julio</b>	646,60	0,87	0,00	722,13	723,00
<b>Agosto</b>	541,10	1,59	0,02	611,39	613,00
<b>Septiembre</b>	562,30	1,77	0,08	629,65	631,50
<b>Octubre</b>	611,70	1,94	0,10	680,96	683,00
<b>Noviembre</b>	433,00	2,34	0,15	482,80	485,29
<b>Diciembre</b>	551,00	0,96	0,00	626,54	627,50
<b>TOTAL</b>	5 704,10				6 343,56

Fuente: Electro Oriente S.A.

En la siguiente figura podemos ver de forma gráfica el consumo y es costo de la institución educativa César Vallejo Mendoza, podemos identificar que esta Institución cuenta con un mayor consumo de energía eléctrica, esto debido a la mayor población institucional que a la que asiste, así mismo, por la infraestructura, la que ocupa tiene una mayor área territorial con 4068 m<sup>2</sup>, cuenta con dos pisos, 15 aulas, aunque muy poco equipamiento electrónico.



**Figura N°22: Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa César Vallejo en La Coipa durante el 2018**

Fuente: Electro Oriente S.A., 2019

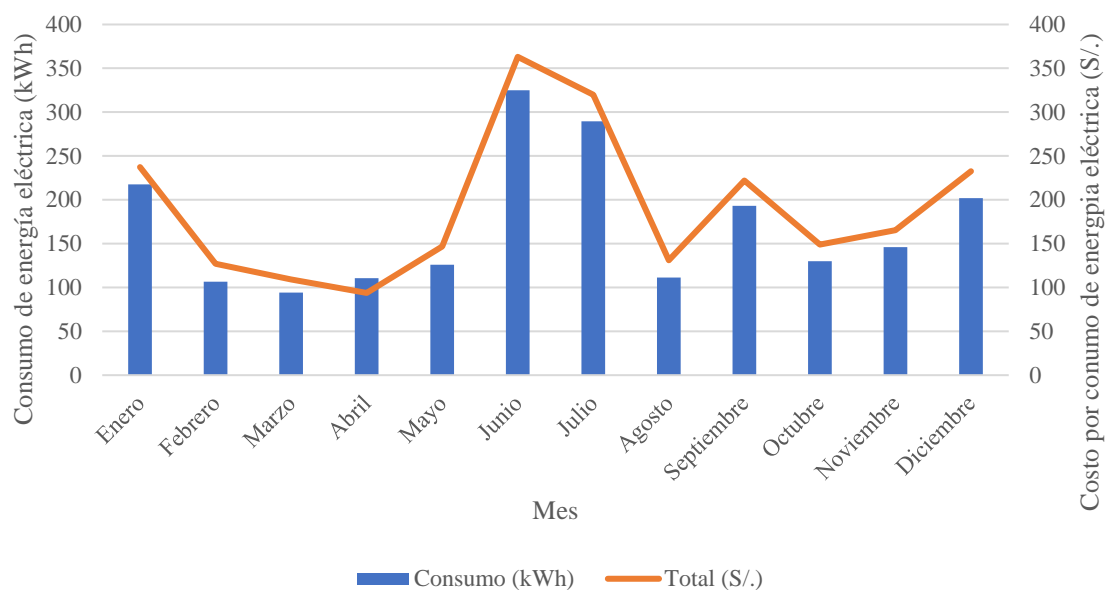
En la Tabla 25 se pueden observar los consumos de energía eléctrica de la Institución Educativa José Martín Cuestas N°16471, la que corresponde al nivel primario, durante todo el año 2018.

**Tabla 25. Consumo de energía eléctrica en la I.E.P.M. José Martín Cuesta N°16471 durante el año 2018**

Mes	Consumo (kWh)	Interés (S/.)	Mora (S/.)	Concepto (S/.)	Total (S/.)
<b>Enero</b>	217,5	0,84	0,07	236,39	237,30
<b>Febrero</b>	106,7	0,89	0,06	126,05	127,00
<b>Marzo</b>	94,10	0,15	0,01	109,14	109,30
<b>Abril</b>	110,80	0,13	0,00	93,67	93,80
<b>Mayo</b>	125,80	0,02	0,00	146,88	146,90
<b>Junio</b>	325,10	0,13	0,00	362,97	363,10
<b>Julio</b>	289,60	0,48	0,00	319,52	320,00
<b>Agosto</b>	111,50	0,41	0,00	130,59	131,00
<b>Septiembre</b>	193,10	0,29	0,00	221,71	222,00
<b>Octubre</b>	129,90	0,64	0,03	148,33	149,00
<b>Noviembre</b>	146,10	0,46	0,02	165,02	165,50
<b>Diciembre</b>	202,00	0,57	0,04	231,89	232,50
<b>TOTAL</b>	2 052,20				2 297,40

Fuente: Electro Oriente S.A.

A través de la siguiente figura podemos identificar que esta Institución José Martín Cuesta N°16471 cuenta con un menor consumo de energía eléctrica en comparación en la institución educativa nivel secundario, pero sigue siendo mayor que el consumo energético del nivel inicial, esto debido a que la población estudiantil del nivel primario no cuenta con equipos electrónicos, se encuentra al mismo nivel que el nivel inicial en cuanto equipamiento.



**Figura N°23: Consumo y costo de energía eléctrica en la Institución Educativa José Martín Cuestas N°16471 en La Coipa durante el 2018**

Fuente: Electro Oriente S.A., 2019

Así mismo, el distrito cuenta con un establecimiento de salud MINSA de Nivel I-1, cuenta con dos áreas territoriales, ubicadas una frente a la otra, las que se suman a un solo recibo.

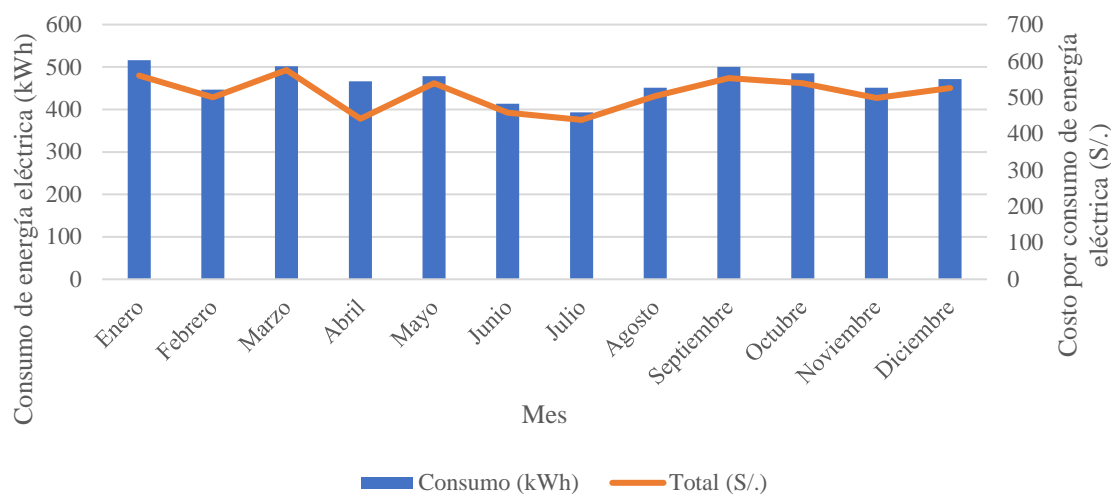
**Tabla 26. Consumo de energía eléctrica en el Centro de Salud de La Coipa durante el año 2018**

Mes	Consumo (kWh)	Interés (S/.)	Mora (S/.)	Concepto (S/.)	Total (S/.)
<b>Enero</b>	516,10	1,69	0,1	558,51	560,30
<b>Febrero</b>	447,00	2,12	0,14	497,44	499,70
<b>Marzo</b>	502,00	3,09	0,3	571,61	575,00
<b>Abril</b>	466,70	1,92	0,11	439,17	441,20
<b>Mayo</b>	478,10	0,70	0,00	537,70	538,40
<b>Junio</b>	413,40	1,63	0,09	455,78	457,50
<b>Julio</b>	393,30	4,92	0,60	432,48	438,00
<b>Agosto</b>	451,60	3,69	0,55	499,76	504,00
<b>Septiembre</b>	500,00	1,54	0,08	551,38	553,00
<b>Octubre</b>	485,00	4,91	0,57	533,02	538,50
<b>Noviembre</b>	451,00	1,41	0,05	496,54	498,00
<b>Diciembre</b>	472,00	0,66	0,00	524,84	525,50
<b>TOTAL</b>	<b>5 576,20</b>				<b>6 129,10</b>

Fuente: Electro Oriente S.A.

A través de la siguiente figura se puede observar de manera más gráfica, en la que se puede observar que el mes de mayor consumo se encuentra en enero con 516,1 kWh incurriendo en un costo de 560,3. El nivel de complejidad de este centro de salud es el más bajo en la escala, debido a la población a la que atiende, por lo que tiene poco equipamiento que consume energía eléctrica. Este establecimiento cuenta con dos áreas, uno para la Unidad Productora de Servicio

de Salud (UPSS) Farmacia con 519 m<sup>2</sup> y de otra área de atención al paciente con otras UPSS de acuerdo a su complejidad, con un área 2 040 m<sup>2</sup>.



**Figura N°24: Consumo y costo de energía eléctrica del Centro de Salud de La Coipa durante el año 2018**

Fuente: Electro Oriente S.A., 2019

Por otro lado, el recibo de la Municipalidad Distrital incluye el consumo de la misma municipalidad más el consumo del parque principal, favorecidos por la ubicación en la que se encuentran cada uno.

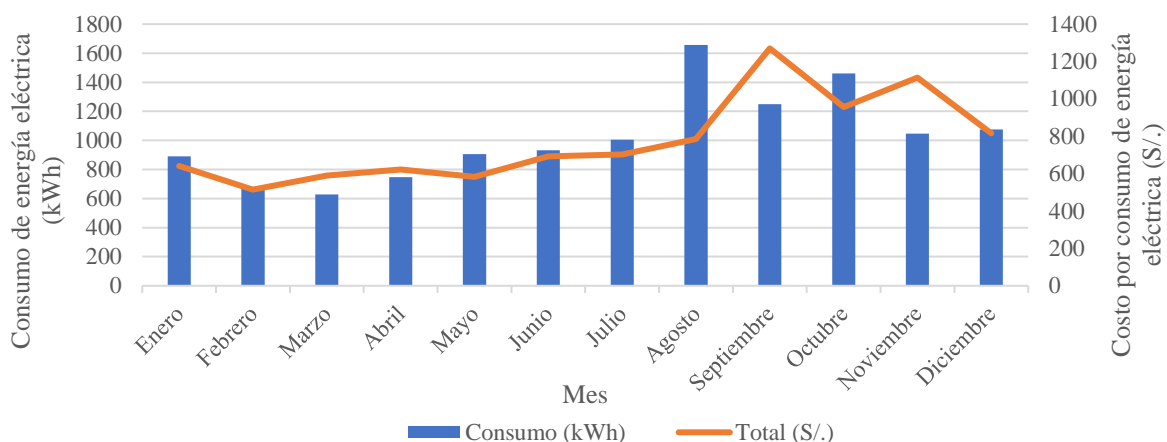
**Tabla 27. Consumo de energía eléctrica en la Municipalidad Distrital La Coipa durante el año 2018**

Mes	Consumo (kWh)	Interés (S/.)	Mora (S/.)	Concepto (S/.)	Total (S/.)
Enero	889,90	3,93	0,46	636,41	640,80
Febrero	667,50	2,16	0,12	512,12	514,40
Marzo	628,00	5,77	0,70	583,43	589,90
Abril	747,00	2,21	0,33	619,96	622,50
Mayo	905,00	1,80	0,08	581,72	583,60
Junio	932,20	5,67	0,68	685,55	691,90
Julio	1 004,80	1,80	0,07	701,33	703,20
Agosto	1 657,30	2,13	0,12	783,05	785,30
Septiembre	1 248,30	7,19	0,85	1 261,96	1 270,00
Octubre	1 459,70	3,65	0,17	951,68	955,50
Noviembre	1 047,00	11,55	1,45	1 101,00	1 114,00
Diciembre	1 075,00	3,18	0,15	813,17	816,50
<b>TOTAL</b>	<b>12 261,70</b>				<b>9 287,60</b>

Fuente: Electro Oriente S.A.

La municipalidad distrital cuenta con una infraestructura de tres pisos, ubicada frente al parque principal, como se ve en la Figura N°25 el mes de mayor consumo de energía eléctrica se encuentra en el mes de agosto, sin embargo, el mes en el que cuesta más es el mes de septiembre, todas las instituciones públicas correspondientes a la Municipalidad Distrital de La Coipa se

encuentran suscritas a Electro Oriente S.A. bajo el cobro de tarifa BT5B, a excepción de la municipalidad, la que se encuentra en la BT5C. Así mismo, la variación del costo por consumo de energía eléctrica le corresponde a Osinergmin, el regulador del sector energético.



**Figura N°25: Consumo y costo de energía eléctrica de la Municipalidad del Distrito La Coipa durante el año 2018**

Fuente: Electro Oriente S.A., 2019

A partir de los resultados previos se realizó una proyección del consumo energético de los hogares de La Coipa, se calculó el consumo promedio per cápita, según los resultados encontrados en la encuesta realizada, luego se halló el consumo estimado de toda la población urbana del Distrito La Coipa, así mismo, se han incluido en la demanda energética el consumo de energía de las instituciones pública, sin embargo, se ha visto conveniente permanecer este consumo como una cantidad estable, pues el incremento de consumo de energía poblacional viene siendo determinado por el crecimiento poblacional, algo que no sucede de la misma forma para las instituciones públicas, pues estas presentan un consumo energético que depende principalmente de la infraestructura y equipamiento con el que cuentan.

**Tabla 28. Proyección de demanda energética de la zona urbana de La Coipa**

Año	Población Urbana	Consumo (kWh/mes)	Inst. Públicas (kWh/mes)	TOTAL (kWh/año)
2019	2 609	35 452	1 039	437 891
2020	2 708	36 797	1 039	454 032
2021	2 810	38 193	1 039	470 786
2022	2 917	39 642	1 039	488 175
2023	3 028	41 146	1 039	506 224
2024	3 143	42 707	1 039	524 957
2025	3 262	44 327	1 039	544 402
2026	3 385	46 009	1 039	564 584
2027	3 514	47 755	1 039	585 532
2028	3 647	49 567	1 039	607 274
2029	3 786	51 447	1 039	629 842
2030	3 929	53 399	1 039	653 266
2031	4 078	55 425	1 039	677 579
2032	4 233	57 528	1 039	702 814
2033	4 394	59 711	1 039	729 006
2034	4 560	61 977	1 039	756 193
2035	4 733	64 328	1 039	784 410
2036	4 913	66 769	1 039	813 699
2037	5 099	69 302	1 039	844 099
2038	5 293	71 932	1 039	875 652
2039	5 494	74 661	1 039	908 402
2040	5 702	77 493	1 039	942 395
2041	5 919	80 434	1 039	977 677
2042	6 143	83 485	1 039	1 014 299
2043	6 376	86 653	1 039	1 052 309
2044	6 618	89 941	1 039	1 091 762
2045	6 869	93 353	1 039	1 132 712
2046	7 130	96 895	1 039	1 175 216

Fuente: La Coipa, 2019

### 3.3. Diseño del Relleno Sanitario con Captura de Biogás

El primer paso para realizar el diseño del Relleno Sanitario se trata de realizar la selección del área donde se construirá esta infraestructura, después de este paso se podrá seleccionar el método constructivo y realizar los cálculos pertinentes de diseño de trincheras, pozas de tratamiento de lixiviados, drenes para el tratamiento de gases. También se realizan cálculos para estimar en que porcentaje y en qué tiempo se podrá cubrir la demanda energética de la población y/o en que etapas. Así mismo, es pertinente describir las operaciones que serán realizadas en el relleno sanitario permitiendo describir el personal administrativo y de operaciones requerido.

### 3.3.1. Selección del Área

Para realizar la selección del área primero recurrimos a detallar primero los terrenos con los que cuenta la Municipalidad Distrital La Coipa, y sus respectivas áreas.

**Tabla 29. Áreas de la Municipalidad Distrital La Coipa**

Destino o uso	Ubicación	Área (m <sup>2</sup> )
Terreno libre	Pueblo Nuevo	1 200
Loza para sacrificio de animales	La Coipa	90
Oficina para JASS	La Coipa	200
Camal Municipal	La Manga	450
Botadero Municipal	Desvío a Limón	40 000

Fuente: Municipalidad Distrital La Coipa, 2020

De la Tabla 29 se puede concluir que La Municipalidad Distrital La Coipa cuenta únicamente con el área del mismo botadero municipal para realizar el relleno o estudiar una nueva área, sin embargo, [22] nos permite categorizar un botadero según la prioridad para su clausura y según sus impactos; para determinar si este debe ser clausurado o puede recibir un cambio de ingeniería y ser un relleno sanitario. Además, el presente proyecto pretende vender el servicio de recojo de residuos sólidos a la población.

Para categorizar un botadero según la prioridad para su clausura se evalúan las características, de acuerdo a criterios generales como la cantidad y tipo de residuos que contiene, el área que está ocupando, tiempo de actividad, cercanía a viviendas o poblados, aspectos socioeconómicos y riesgos que representa a la salud. Así mismo, cada aspecto tiene diferentes pesos de puntuación, el impacto que genera el ser humano tiene un valor de 60% distribuido en aspectos socioeconómicos y riesgos a la salud en 40% y cercanía a las viviendas o poblados en 20%; el impacto que genera al ambiente en general en 40% distribuido en la presencia de residuos peligrosos en 15%, cantidad de residuos y área que ocupa en 10%, tiempo de actividad 10% y características geofísicas del sitio 5%.

**Tabla 30. Categorización del Botadero Municipal del Distrito La Coipa según la prioridad para su clausura**

<b>1. Cantidad de residuos y área que ocupa</b>			
<b>Característica</b>		<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
Superficie que abarca	4	hectáreas	1
Cantidad diaria de residuos que se arrojan	2,37	t/día	0,5
Cantidad aproximada de residuos acumulados	5 167,44	toneladas	0,5
Sub Total		2	
<b>2. Presencia de residuos peligrosos</b>			
<b>Característica</b>		<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
Arrojo de residuos hospitalarios		Se recolecta conjuntamente con residuos domésticos de pequeños establecimientos de salud.	2,5
Arrojo de residuos industriales		Nulo	0
Sub Total		2,5	
<b>3. Tiempo de actividad del botadero</b>			
<b>Característica</b>		<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
Tiempo de actividad del botadero	12	años	10
Sub Total		10	
<b>4. Cercanía a poblados o viviendas</b>			
Cercanía a viviendas o poblados		Apartado a más de 500 m de las viviendas más cercanas	1
Sub Total		1	
<b>5. Por las características geofísicas de la zona</b>			
<b>Característica</b>		<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
Precipitación pluvial total anual		Moderado (500 -1500 mm)	4
Temperatura promedio anual		Moderado (12°C - 18°C)	2
Condiciones geológicas e hidrogeomorfológicas		Estable y no existe curso de agua subterránea en el sitio o está a una profundidad mayor a 10 metros.	0
Sub Total		6	
<b>6. Aspectos socioeconómicos y riesgos a la salud</b>			
<b>Característica</b>		<b>Respuesta</b>	<b>Puntaje</b>
Actividad de segregación		Moderada	9
Crianza de aves y ganado porcino		No existe	0
Presencia de vectores		Abundante	9
Quema de basura		Quema esporádica	3
Sub Total		21	
<b>TOTAL</b>		<b>42,5</b>	

Fuente: En base al Consejo Nacional del Ambiente, 2004

De acuerdo al resultado el botadero de la Municipalidad Distrital de La Coipa es categorizado como de moderado riesgo (31 – 70), por lo que la estrategia se encuentra en la conversión ingenieril de este. Ahora para categorizar un botadero según sus impactos, de

forma más objetiva [22] nos permite llegar a una conclusión. Para ello se procederá a evaluar sus impactos tanto ambientales como socioeconómicos y de salud; suponiendo que ambos aspectos son de igual importancia, por lo tanto, se les asigna 50% a cada uno.

**Tabla 31. Categorización del Botadero Municipal del Distrito La Coipa según su impacto ambiental**

Impactos ambientales		
Aspecto	Condición	Puntuación
1. Suelo		
Área ocupada para los residuos	> 4 hectáreas	1
Tipo de residuos	Municipal	0
Incompatibilidad del uso del suelo	No	0
Presencia de lixiviados	Sí	2
2. Aire		
Presencia de biogás	Sí	1
Quema de residuos	Sí	0,5
Presencia de olores desagradables	Sí	0,5
3. Agua		
Presencia de lixiviados	No	0
4. Flora		
Daños a la vegetación	No	0
5. Fauna		
Proliferación de fauna nociva	Sí	1
Alteración de la fauna terrestre o acuática	No	0
6. Patrimonio cultural y natural		
Cerca o en sitios de patrimonio histórico religioso y turístico	No	0
Cerca o en áreas de reserva o protección natural	No	0
Sub total		6
Actividades socioeconómicas y de salud		
Presencia constante de grupos humanos	Sí	4
Riesgo a la salud de los grupos humanos que viven en la zona o en los alrededores	No	0
Afectación de otras actividades (socioeconómicas, turísticas, etc.)	No	0
Sub total		4
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>

Fuente: En base al Consejo Nacional del Ambiente, 2004

El resultado muestra que el actual botadero se categoriza como de bajo riesgo de acuerdo a [22] por lo que es factible la conversión del botadero. Para fortalecer la selección del área se hizo uso de la Guía para la opinión técnica de selección de área para tratamiento,

transferencia y disposición final de residuos [31], que establece criterios de selección para áreas para el fin de la presente investigación.

**Tabla 32. Resultados de selección de área**

Item	Criterio de selección	Resultado	Valores límite o de referencia
1	Distancia a la población más cercana (m)	1 728 m	> 1 000
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	1 766 m	> 1 000
3	Distancia a aeropuertos o pista de aterrizaje (km)	109 km	> 3
4	Área del terreno (m <sup>2</sup> )	40 000 m <sup>2</sup>	---
5	Estimación de la Vida útil (años)		> 5 años
6	Uso actual del suelo y del área de influencia	Botadero a cielo abierto	Cultivo limpio / Cultivo seco / Pastos naturales / Forestal de sierra / Eriazo
7	Propiedad del terreno	Municipal (Saneado)	Saneado
8	Accesibilidad al sitio (Distancia a vía de acceso principal Km)	0,05 km / Buen estado	Buen estado
9	Pendiente del terreno (Topografía)	10%	0% < X < 12%
10	Napa freática (m)	-	> 10metros
10	Posibilidad del material de cobertura	Sí	Material de cobertura adecuado
11	Distancia a fuentes de aguas superficiales (m)	> 300 metros	> 300 metros
12	Opinión pública	Sí	Favorable
13	Área natural protegida por el estado	Sí	Fuera del área natural
14	Área arqueológica	Sí	Inexistencia de restos
15	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)	Sí	Baja vulnerabilidad
16	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)	Sí	Contraria a la más cercana
17	Cuenta con barrera sanitaria natural	No	Presenta barrera sanitaria

Fuente: MINSAs, 2004

Debido a limitaciones con la presente investigación, no se presenta el dato exacto de la napa freática, sin embargo, este factor es muy importante a tomar en cuenta en caso se decida implementar el relleno sanitario.

A continuación, se puede observar en las imágenes la ubicación del área seleccionada para el relleno sanitario, que como ya se mencionó será la adecuación de la zona del actual botadero a cielo abierto con el que cuenta actualmente la municipalidad distrital. En la Figura N° 26 vemos la ubicación en una vista 2D y en la Figura N° 27 se observa la ubicación a la distancia de la zona urbana de La Coipa.



**Figura N° 26: Vista de ubicación del Botadero Municipal del Distrito La Coipa**

Fuente: Google Maps



**Figura N° 27: Distancia de zona urbana a Botadero Municipal del Distrito La Coipa**

Fuente: Google Maps

En la Figura N° 26 se puede observar la ubicación del botadero a una distancia de 100 metros a través de la plataforma de Google Maps y en la Figura N° 27 se puede observar la distancia del botadero a la zona urbana del distrito, vista a una distancia de 500 metros a través de la plataforma de Google Maps.

### 3.3.2. Método constructivo del Relleno Sanitario

De acuerdo a las características con las que cuenta el área seleccionada y además las características de la población a atender, el método más conveniente según MINAM [12] y de acuerdo a la capacidad e infraestructura será de un relleno semi mecanizado, pues la disposición de residuos sólidos municipales llega a ser con el tiempo hasta de 10 t/día, por lo tanto es necesario contar con maquinaria para la manipulación y compactación de los residuos, además para corte y acopio de material de cobertura, también serán necesarias herramientas manuales. Así mismo, según [23] el método combinado es posible de aplicar en terrenos como el seleccionado. Este método consiste en depositar los residuos sobre el talud inclinado, se compactan en capas inclinadas, la celda se cubre después con material de cobertura, las celas son construidas en un extremo del área a rellenar y se avanza hasta terminar en el otro extremo según el largo de la frontera de avance. Este método, además, es el más eficiente, pues buscar utilizar la mayor parte del terreno, tanto en profundidad como en altura.

### 3.3.3. Cálculo del área operativa

Para realizar los cálculos del volumen y área requerida para la construcción del relleno es necesario conocer la producción diaria de residuos sólidos municipales, la que es mencionada previamente y su proyección en un tiempo estimado, este tiempo será determinado a partir del área que se tiene, la que es de 40 000 m<sup>2</sup> o 4 hectáreas (200 x 200). La Tabla 33 resume los cálculos realizados, en las columnas 2, 3 y 4 se encuentran datos de la proyección de población a partir del año 2020 y la generación per cápita de residuos sólidos municipales, es importante distinguir que los municipales incluyen residuos que provienen de actividades diarias de limpieza de calles y poda de árboles del parque principal, representando un incremento de los residuos domiciliarios y no domiciliarios. La columna 5 es el cálculo para hallar el volumen en m<sup>3</sup>/año, para lo que se tomó en cuenta una densidad de compactación de 0,60 (t/m<sup>3</sup>) ya que este relleno es de compactación semi mecanizada, pues se utilizan máquinas y también herramientas manuales; la columna 6 incluye el material de cobertura que será necesario, el que de acuerdo a [12] este debe ser 25% del volumen. Finalmente se halla el área que ocupa el volumen de residuos más el material de cobertura, para ello se utiliza el dato de 6 metros de profundidad para trincheras.

Tabla 33. Volumen y área requerida para la construcción del relleno sanitario

Año	Población (hab)	Generación per cápita (kg/hab/día)	Generación de RSM (t/año)	Volumen de RSM (m <sup>3</sup> /año)	Volumen RSM + MC (m <sup>3</sup> /año)	Área total (m <sup>2</sup> /año)	Área total + Área adicional (m <sup>2</sup> /año)	Área total acumulada (m <sup>2</sup> )	Volumen total acumulado (m <sup>3</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2 707,61	1,06	1 043,52	1 739,19	2 173,99	362,33	471,03	471,03	2 173,99
1	2 810,34	1,06	1 083,11	1 805,18	2 256,48	376,08	488,90	959,93	4 430,47
2	2 916,96	1,06	1 124,20	1 873,67	2 342,09	390,35	507,45	1 467,39	6 772,56
3	3 027,64	1,06	1 166,86	1 944,76	2 430,95	405,16	526,71	1 994,09	9 203,51
4	3 142,51	1,06	1 211,13	2 018,55	2 523,19	420,53	546,69	2 540,78	11 726,70
5	3 261,74	1,06	1 257,08	2 095,14	2 618,92	436,49	567,43	3 108,22	14 345,62
6	3 385,50	1,06	1 304,78	2 174,63	2 718,29	453,05	588,96	3 697,18	17 063,90
7	3 513,95	1,06	1 354,28	2 257,14	2 821,42	470,24	611,31	4 308,49	19 885,33
8	3 647,27	1,06	1 405,67	2 342,78	2 928,47	488,08	634,50	4 942,99	22 813,80
9	3 785,66	1,06	1 459,00	2 431,66	3 039,58	506,60	658,58	5 601,57	25 853,38
10	3 929,29	1,06	1 514,36	2 523,93	3 154,91	525,82	683,56	6 285,13	29 008,29
11	4 078,37	1,06	1 571,81	2 619,69	3 274,61	545,77	709,50	6 994,63	32 282,89
12	4 233,11	1,06	1 631,45	2 719,08	3 398,85	566,48	736,42	7 731,05	35 681,75
13	4 393,72	1,06	1 693,35	2 822,25	3 527,81	587,97	764,36	8 495,40	39 209,56
14	4 560,43	1,06	1 757,60	2 929,33	3 661,66	610,28	793,36	9 288,76	42 871,22
15	4 733,46	1,06	1 824,28	3 040,47	3 800,59	633,43	823,46	10 112,23	46 671,81
16	4 913,05	1,06	1 893,50	3 155,83	3 944,79	657,46	854,70	10 966,93	50 616,60
17	5 099,46	1,06	1 965,34	3 275,57	4 094,46	682,41	887,13	11 854,06	54 711,06
18	5 292,94	1,06	2 039,91	3 399,85	4 249,81	708,30	920,79	12 774,85	58 960,87
19	5 493,76	1,06	2 117,31	3 528,84	4 411,05	735,18	955,73	13 730,58	63 371,92
20	5 702,20	1,06	2 197,64	3 662,73	4 578,42	763,07	991,99	14 722,57	67 950,34
21	5 918,55	1,06	2 281,02	3 801,70	4 752,13	792,02	1 029,63	15 752,20	72 072,47
22	6 143,11	1,06	2 367,57	3 945,94	4 932,43	822,07	1 068,69	16 820,89	77 634,90
23	6 376,19	1,06	2 457,40	4 095,66	5 119,57	853,26	1 109,24	17 930,14	82 754,47
24	6 618,11	1,06	2 550,63	4 251,06	5 313,82	885,64	1 151,33	19 081,46	88 068,29
25	6 869,21	1,06	2 647,41	4 412,35	5 515,43	919,24	1 195,01	20 276,47	93 583,73
26	7 129,84	1,06	2 747,85	4 579,76	5 724,70	954,12	1 240,35	21 516,82	99 308,42
27	7 400,36	1,06	2 852,11	4 753,52	5 941,90	990,32	1 287,41	22 804,24	105 250,32
28	7 681,14	1,06	2 960,33	4 933,88	6 167,34	1 027,89	1 336,26	24 140,49	111 417,67
29	7 972,57	1,06	3 072,64	5 121,07	6 401,34	1 066,89	1 386,96	25 527,45	117 819,01
30	8 275,07	1,06	3 189,23	5 315,38	6 644,22	1 107,37	1 439,58	26 967,03	124 463,23
31	8 589,03	1,06	3 310,23	5 517,05	6 896,31	1 149,39	1 494,20	28 461,23	131 359,54
32	8 914,91	1,06	3 435,82	5 726,37	7 157,97	1 192,99	1 550,89	30 012,13	138 517,51
33	9 253,16	1,06	3 566,18	5 943,64	7 429,55	1 238,26	1 609,74	31 621,86	145 947,06
34	9 604,24	1,06	3 701,49	6 169,15	7 711,44	1 285,24	1 670,81	33 292,67	153 658,50
35	9 968,64	1,06	3 841,93	6 403,22	8 004,02	1 334,00	1 734,20	35 026,88	161 662,52
36	10 346,86	1,06	3 987,70	6 646,17	8 307,71	1 384,62	1 800,00	36 826,88	169 970,23

Fuente: Elaboración propia

Las columnas 7, 8 y 9 representan los resultados, en el caso de la columna 7 se trata del área que ocupa el volumen de los residuos sólidos municipales dispuestos en un año, luego la columna 8 viene a ser un 30% como un potencial estimado de lo que vendría a ser el área administrativa, la columna 9 contiene los acumulados de área siendo utilizada año a año, este cuadro permite ir aproximando la vida útil del relleno sanitario y finalmente la columna 10 contiene los volúmenes de residuos acumulados año a año, dato importante para determinar el diseño de las trincheras y plataformas de relleno sanitario.

### **3.3.3.1. Volumen de trincheras**

Determinado el método a utilizar y conociendo el área disponible, se realiza el cálculo del volumen de recepción de las trincheras y plataformas, las trincheras son preparadas antes de iniciar el vaciamiento de los residuos, mientras que las plataformas son estructuras que van sobre las trincheras. La determinación de este volumen se encuentra determinada por dos el espacio superficial con el que se cuenta y con el volumen de residuos que se pretende recibir. Para determinarla se utilizó el método de zanjas mediante la Ecuación 1 propuesto por el MINAM en su *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos* [12] la misma que presenta la investigación de Oluwadare en [11] a partir de la cual se obtuvieron los siguientes resultados, además su cálculo estuvo condicionado a recibir la mayor cantidad de residuos, por lo que las trincheras cuentan con una profundidad de 6 metros y para utilizar más eficientemente el espacio con plataformas de 2,5 metros de altura.

En la tabla 34 podemos ver que tendremos 14 trincheras y 13 plataformas, es preferible construir trincheras de menor área, pues estas resultan ser menos costosas y no requiere de personal adicional para su construcción, por lo que varias trincheras de menor área requieren del trabajo continuo de los operarios de planta. Llega a ocupar un volumen para  $154\,229,39\text{ m}^3$  y  $24\,436,88\text{ m}^2$  de área superficial. El área superficial sobrante estará destinada para el área administrativa, área de máquinas de conversión de biogás a energía eléctrica, pozas para la recolección de lixiviados, vías internas para circulación de maquinaria, casetas de vigilancia, entrada y parquímetro.

**Tabla 34. Dimensiones de trincheras del relleno sanitario**

Descripción	Dimensiones					Volumen (m3)	Área (m2)	Años de servicio
	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	h (m)			
Trinchera N°1	58,9	32,0	22,0	48,9	6,0	8 762,67	1 883,52	4,00
Trinchera N°2	58,9	30,0	20,0	48,9	6,0	8 113,20	1 765,80	3,00
Trinchera N°3	58,9	30,0	20,0	48,9	6,0	8 113,20	1 765,80	3,00
Trinchera N°4	58,5	32,0	22,0	48,5	6,0	8 704,61	1 872,00	3,00
Trinchera N°5	58,5	30,0	20,0	48,5	6,0	8 059,48	1 755,00	2,00
Trinchera N°6	58,5	30,0	20,0	48,5	6,0	8 059,48	1 755,00	2,00
Trinchera N°7	59,6	32,0	22,0	49,6	6,0	8 886,87	1 908,16	2,00
Trinchera N°8	59,6	32,0	20,0	49,6	6,0	8 554,00	1 908,16	2,00
Trinchera N°9	59,6	32,0	20,0	49,6	6,0	8 554,00	1 908,16	2,00
Trinchera N°10	58,0	26,0	16,0	48,0	6,0	6 701,84	1 507,48	1,00
Trinchera N°11	60,0	25,8	15,8	50,0	6,0	6 871,07	1 545,00	2,00
Trinchera N°12	60,0	25,8	15,8	50,0	6,0	6 871,07	1 545,00	1,00
Trinchera N°13	60,0	25,8	15,8	50,0	6,0	6 871,07	1 545,00	1,00
Trinchera N°14	59,6	29,7	19,7	49,6	6,0	8 139,09	1 772,80	1,00
TOTAL						111 261,65	24 436,88	29,00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35. Dimensiones de plataformas del relleno sanitario**

Descripción	Dimensiones					Volumen (m3)	Años de servicio
	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	h (m)		
Plataforma N°1	58,9	32,0	22,0	48,9	2,5	3 651,11	0,50
Plataforma N°2	58,9	30,0	20,0	48,9	2,5	3 380,50	0,50
Plataforma N°3	58,9	30,0	20,0	48,9	2,5	3 380,50	0,50
Plataforma N°4	58,5	32,0	22,0	48,5	2,5	3 626,92	0,50
Plataforma N°5	58,5	30,0	20,0	48,5	2,5	3 358,12	0,50
Plataforma N°6	58,5	30,0	20,0	48,5	2,5	3 358,12	0,50
Plataforma N°7	59,6	32,0	22,0	49,6	2,5	3 702,86	0,50
Plataforma N°8	59,6	32,0	20,0	49,6	2,5	3 564,17	0,25
Plataforma N°9	59,6	32,0	20,0	49,6	2,5	3 564,17	0,25
Plataforma N°10	58,0	26,0	16,0	48,0	2,5	2 792,43	0,25
Plataforma N°11	60,0	25,8	15,8	50,0	2,5	2 862,95	0,25
Plataforma N°12	60,0	25,8	15,8	50,0	2,5	2 862,95	0,25
Plataforma N°13	60,0	25,8	15,8	50,0	2,5	2 290,36	0,25
TOTAL						42 395,15	5,00

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4. Cálculo de la vida útil del relleno sanitario

De acuerdo a [12] la vida útil de un relleno sanitario, se ve determinada por el área de las trincheras, y estos deben tener una capacidad de recibir residuos hasta como mínimo el periodo

de 10 años. Como se puede ver en la Tabla 34 se realizaron los cálculos del área necesaria año a año, por lo que se conoce el espacio necesario. Luego al realizar el diseño de trincheras y plataformas, de acuerdo a las áreas, altura y profundidad se puede detallar el volumen que puede recibir cada una, llegando a tener espacio para  $154\,229,39\text{ m}^3$ , así mismo, vemos que para el año 34 es necesario  $153\,658,50\text{ m}^3$  estimando que hasta este año será posible recibir residuos.

#### **3.3.4.1. Material de cobertura**

El material de cobertura incluye el material necesario para dar inicio del uso de las trincheras, así mismo, el material de cobertura diaria y un material de cobertura para finalizar el proyecto. En el caso del primer material el cual sirve de cubierta para iniciar operaciones, la cobertura diaria consiste en cubrir con tierra la superficie de las celas que contienen residuos dispuestos, este material es el sellado de la celda diaria; por otro lado, el material de cobertura para disposición final consta de la cubierta final.

#### **3.3.4.2. Diseño de la celda diaria**

La celda diaria constituye la célula fundamental para el manejo de los residuos al momento de su disposición final. Esta consiste en compactar la masa de desechos producidos en un día, rodeados por una capa de tierra o material de cobertura, permitiendo obtener un aislamiento completo de los residuos en el ambiente. Para realizar el diseño de las celas es necesario conocer la cantidad de residuos sólidos municipales recolectados diariamente. Así mismo, según [23] se deben tener en cuenta también la altura, largo, ancho del frente del trabajo y espesor del material de cobertura diario; en base a ello se realizó una proyección del diseño de celda diaria desde el año 0 al año 34 de cierre del relleno sanitario, los resultados pueden observarse en la siguiente tabla, donde la columna 1 contiene la cantidad de residuos a disponer año a año, la columna 3 se trata de la densidad promedio de residuos dispuestos la que como referencia se toma de  $0,60\text{ t/m}^3$ , la columna 4 contiene el volumen a ocupar de los residuos según lo recolectado cada día, la columna 5 incluye el material de cobertura que cubrirá los residuos diariamente dispuestos, la columna 6 viene a ser la sumatoria de la columna 4 y 5 como el volumen total, la columna 7 es la altura que tendrá la disposición de los residuos en el relleno sanitario y finalmente la columna 8 viene a ser el resultado del área a ocupar la disposición del volumen de los residuos sólidos, esta es obtenida de la división entre el volumen de los residuos sólidos y la altura de disposición.

Tabla 36. Diseño de celda diaria

Año	Cantidad promedio de residuos a disponer (t/día)	Densidad promedio de residuos dispuestos (t/m <sup>3</sup> )	Volumen de residuos (m <sup>3</sup> )	Volumen de material de cobertura (m <sup>3</sup> )	Volumen de la celda diaria (m <sup>3</sup> )	Altura promedio de capa de residuos (m)	Área de la celda diaria (m <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5	6	7	8
0	2,859	0,60	4,765	1,191	5,956	1,5	3,971
1	2,967	0,60	4,946	1,236	6,182	1,5	4,121
2	3,080	0,60	5,133	1,283	6,417	1,5	4,278
3	3,197	0,60	5,328	1,332	6,660	1,5	4,440
4	3,318	0,60	5,530	1,383	6,913	1,5	4,609
5	3,444	0,60	5,740	1,435	7,175	1,5	4,783
6	3,575	0,60	5,958	1,489	7,447	1,5	4,965
7	3,710	0,60	6,184	1,546	7,730	1,5	5,153
8	3,851	0,60	6,419	1,605	8,023	1,5	5,349
9	3,997	0,60	6,662	1,666	8,328	1,5	5,552
10	4,149	0,60	6,915	1,729	8,644	1,5	5,762
11	4,306	0,60	7,177	1,794	8,972	1,5	5,981
12	4,470	0,60	7,450	1,862	9,312	1,5	6,208
13	4,639	0,60	7,732	1,933	9,665	1,5	6,443
14	4,815	0,60	8,026	2,006	10,032	1,5	6,688
15	4,998	0,60	8,330	2,083	10,413	1,5	6,942
16	5,188	0,60	8,646	2,162	10,808	1,5	7,205
17	5,384	0,60	8,974	2,244	11,218	1,5	7,478
18	5,589	0,60	9,315	2,329	11,643	1,5	7,762
19	5,801	0,60	9,668	2,417	12,085	1,5	8,057
20	6,021	0,60	10,035	2,509	12,544	1,5	8,362
21	6,249	0,60	10,416	2,604	13,020	1,5	8,680
22	6,486	0,60	10,811	2,703	13,514	1,5	9,009
23	6,733	0,60	11,221	2,805	14,026	1,5	9,351
24	6,988	0,60	11,647	2,912	14,558	1,5	9,706
25	7,253	0,60	12,089	3,022	15,111	1,5	10,074
26	7,528	0,60	12,547	3,137	15,684	1,5	10,456
27	7,814	0,60	13,023	3,256	16,279	1,5	10,853
28	8,110	0,60	13,517	3,379	16,897	1,5	11,265
29	8,418	0,60	14,030	3,508	17,538	1,5	11,692
30	8,738	0,60	14,563	3,641	18,203	1,5	12,136
31	9,069	0,60	15,115	3,779	18,894	1,5	12,596
32	9,413	0,60	15,689	3,922	19,611	1,5	13,074
33	9,770	0,60	16,284	4,071	20,355	1,5	13,570
34	10,141	0,60	16,902	4,225	21,127	1,5	14,085

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5. Cálculo del área administrativa

Si bien la mayor parte del área de un relleno sanitario es ocupada por el área operativa donde serán depositados los residuos y tratados adecuadamente y el área de almacenamiento de lixiviados, en este caso también el área de tratamiento de biogás, es importante considerar el área de oficinas, almacén, laboratorio, servicios higiénicos, zonas de vestidores y salas de espera. Así mismo, esta distribución sirve para determinar la demanda energética en el área administrativa.

Para determinar las áreas necesarias para cada oficina se utilizó el Reglamento Nacional de Edificaciones [32] en el que se encuentran establecidas las áreas mínimas de edificación.

**Tabla 37. Distribución de áreas administrativas**

Distribución Administrativa	Área (m <sup>2</sup> )
1. Oficina Gerencia General	17,5
1.2 Servicios Higiénicos	5,82
1.3 Almacén	5,82
2. Oficina Logística y Mantenimiento	17,50
3. Oficina Gestión Ambiental	17,50
3.1 Laboratorio	27,50
4. Oficina de Recursos Humanos	17,50
5. Secretaria	12,50
6. Servicios Higiénicos Hombres	12,50
7. Servicios Higiénicos Mujeres	12,50
8. Sala de Reuniones	37,50
10. Sala de espera	15,00
11. Vestidores	22,50
12. Almacén de Operaciones	96,00

Fuente: Elaboración propia

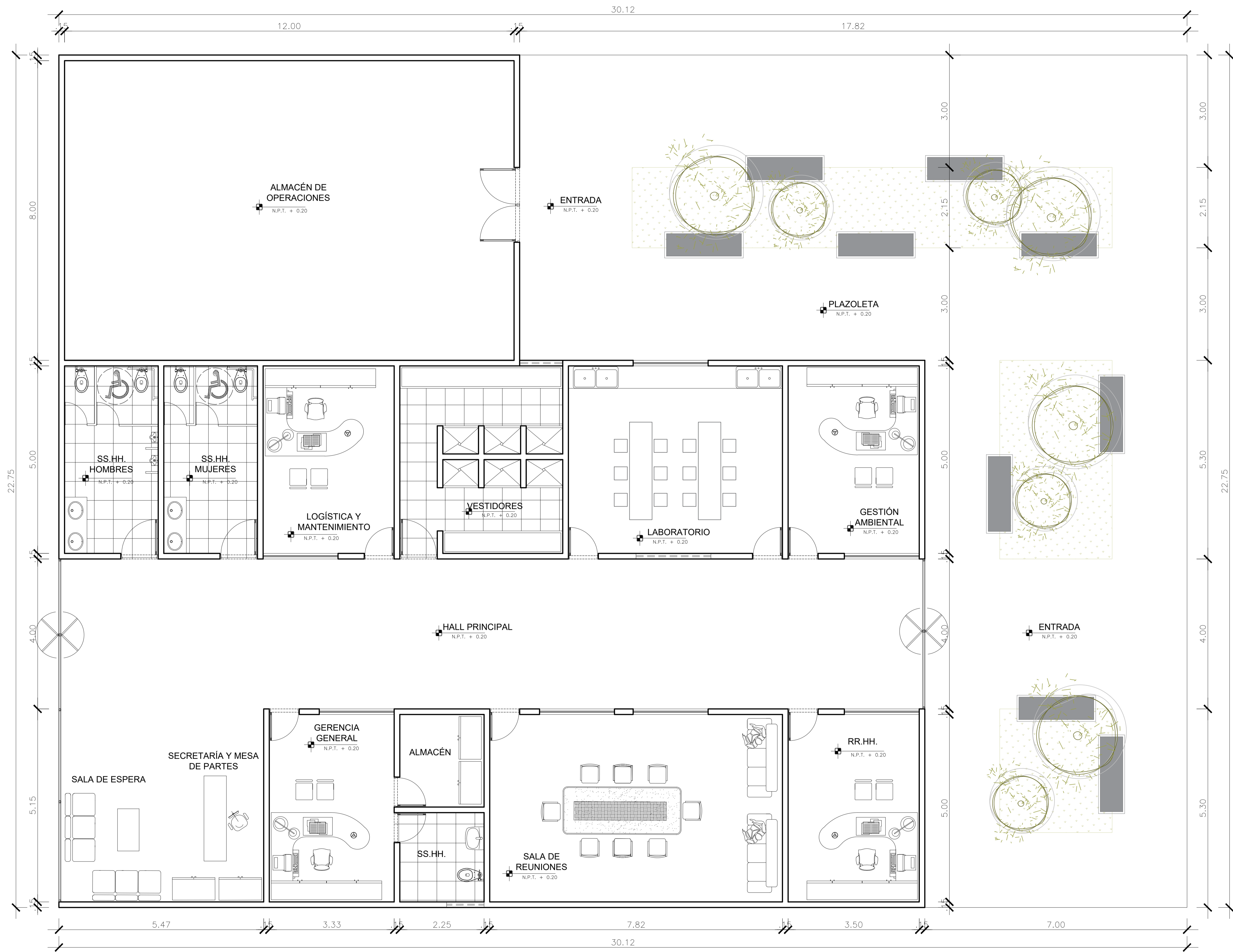
En este punto se determina también el requerimiento de energía eléctrica de la zona administrativa, pues permitirá averiguar la necesidad de energía eléctrica los primeros años para autoconsumo. Es decir, al principio existirá generación para el funcionamiento de las propias instalaciones, y más adelante existirá producción suficiente para cubrir además la demanda de la población. La siguiente tabla muestra el equipamiento del área administrativa, así como el uso de luminarias demostrando la necesidad energética por la planta al comienzo del funcionamiento pues aún no se habrá generado energía suficiente para autoconsumo, esta energía será adquirida de red por el distribuidor de la zona.

**Tabla 38. Demanda energética de área administrativa**

<b>EQUIPOS DE OFICINA</b>					
<b>Área</b>	<b>Equipo</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Consumo diario (kWh/día)</b>	<b>Consumo mensual (kWh/mes)</b>	<b>Consumo anual (kWh/año)</b>
Oficina Gerencia General	Computadora 1	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 1	0,02	0,12	3,12	37,44
Oficina Logística y Mantenimiento	Computadora 2	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 2	0,02	0,12	3,12	37,44
Oficina Gestión Ambiental	Computadora 3	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 3	0,02	0,12	3,12	37,44
Laboratorio	Computadora 3	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 3	0,02	0,12	3,12	37,44
Oficina de Recursos Humanos	Computadora 4	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 4	0,02	0,12	3,12	37,44
Secretaria	Computadora 5	0,32	1,92	49,92	599,04
	Impresora 5	0,02	0,12	3,12	37,44
Sala de reuniones	Computadora 6	0,32	1,92	49,92	599,04
	Proyector 1	0,26	1,56	40,56	486,72
Caseta de monitoreo	Computadora 7	0,32	1,92	49,92	599,04
<b>SUB TOTAL</b>				<b>458,64</b>	<b>5 503,68</b>
<b>ILUMINACIÓN</b>					
<b>Área</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia (kW)</b>	<b>Consumo diario (kWh/día)</b>	<b>Consumo mensual (kWh/mes)</b>	<b>Consumo anual (kWh/año)</b>
Gerencia General	4	0,025	0,20	5,20	62,40
Logística y Mantenimiento	2	0,025	0,10	2,60	31,20
Gestión Ambiental	6	0,025	0,30	7,80	93,60
Recursos Humanos	2	0,025	0,10	2,60	31,20
Secretaria	1	0,025	0,05	1,30	15,60
Servicios Higiénicos	4	0,025	0,20	5,20	62,40
Sala de Reuniones	3	0,025	0,15	3,90	46,80
Sala de espera	2	0,025	0,10	2,60	31,20
Vestidores	2	0,025	0,10	2,60	31,20
Almacén de operaciones	8	0,032	0,51	13,31	159,74
Iluminación nocturna	5	0,036	2,16	56,16	673,92
<b>SUB TOTAL</b>				<b>103,27</b>	<b>1 239,26</b>
<b>TOTAL</b>				<b>561,91</b>	<b>6 742,94</b>

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la lámina A-01, que presenta el plano de distribución de la zona administrativa del relleno sanitario, donde se encuentran las oficinas del personal administrativo



PLANO:	<b>ARQUITECTURA: ZONA ADMINISTRATIVA</b>	LÁMINA:	
PROYECTO:	DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO CON CAPTURA DE BIOGÁS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO LA COIPA - CAJAMARCA		<b>A-01</b>
ALUMNA:	XIMENA ZUCETTY GRUZ CABRERA		
UBICACIÓN:	DIST. LA COIPA	PROV. SAN IGNACIO	DEP. CAJAMARCA
ESCALA:	1:50		

### 3.3.6. Sistema de drenaje y almacenamiento de lixiviados

Como se ha mencionado en el marco teórico los lixiviados son uno de los productos de los rellenos sanitarios, los que deben ser tratados adecuadamente pues de otro modo pueden generar un impacto negativo al medio ambiente bastante grave. Para determinar el sistema bajo el cual serán tratados los lixiviados, primero se debe saber el caudal generado de estos, para ello se referencio utilizar el método suizo, el que menciona la investigación de Oluwadare [11], así como, la *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructura para Disposición Final de Residuos Sólidos* [12].

#### 3.3.6.1. Poza para lixiviados

Mediante la Ecuación 2: Caudal de Lixiviados se realizaron los cálculos de las áreas de las pozas, así mismo, se estableció utilizar 4 pozas, distribuidas como muestra el plano arquitectónico. Como se ve estas están diseñadas para recolectar los lixiviados de entre 3 a 4 trincheras, convenientemente se plantea que tengan las mismas dimensiones, diseñadas para captar como mínimo el caudal generado por las trincheras, con un posible extra generado por las fluctuaciones en las precipitaciones mensuales.

**Tabla 39. Caudal de lixiviados**

Descripción	Caudal de lixiviado (l/s)	Caudal de lixiviado total (l/s)	Caudal de lixiviado total (m <sup>3</sup> /mes)
Trinchera N°1	0,0030		
Trinchera N°2	0,0028	0,0087	22,532
Trinchera N°3	0,0028		
Trinchera N°4	0,0030		
Trinchera N°5	0,0028	0,0086	22,394
Trinchera N°6	0,0028		
Trinchera N°7	0,0031		
Trinchera N°8	0,0031	0,0120	31,195
Trinchera N°9	0,0031		
Trinchera N°14	0,0028		
Trinchera N°10	0,0024		
Trinchera N°11	0,0025	0,0099	25,558
Trinchera N°12	0,0025		
Trinchera N°13	0,0025		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40. Diseño de pozas de lixiviados**

Descripción	Dimensiones					Volumen (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )
	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	H (m)		
Poza N°1	10,00	7,00	3,00	6,00	1,50	61,75	70,00
Poza N°2	10,00	7,00	3,00	6,00	1,50	61,75	70,00
Poza N°3	10,00	7,00	3,00	6,00	1,50	61,75	70,00
Poza N°4	10,00	7,00	3,00	6,00	1,50	61,75	70,00


Fuente: Elaboración propia

### 3.3.6.2. Drenes para lixiviados

En cuanto al diseño de los drenes de lixiviados estos son calculados principalmente habiendo determinado el diámetro de tuberías a utilizar para la captación de los lixiviados, estos serán de PVC con agujeros que permitan la filtración de los líquidos emanados por la disposición de los residuos sólidos, tendrán un diámetro de 10 cm como mínimo. Además, el espacio entre tubería será de 10 m, estas deben ser cubiertas por una capa de grava, y sobre ella irá la membrana geosintética y recién se podrán colocar los residuos.

El método a utilizar para colocarlos será el de espina de pescado el que será construido en la base del relleno con pendiente de escurrimiento en sentido longitudinal (mínimo 2%) y relieve horizontal en sentido transversal, para ello se utilizan tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad), las que deben tener orificios o ranuras que permitan la captación de los lixiviados. Además, se debe tener en cuenta el uso de una bomba para drenar los lixiviados hacia las pozas.

**Tabla 41. Tubos ranurados para captura de lixiviados**

Nombre	Especificaciones técnicas	Imagen
Tubos para captación de lixiviados	Modelo: 17/1SDR PN6 Longitud: 5m Diámetro: 160 mm Peso: 4,35 kg/m Número de ranuras: 8 Resistencia: 12 kJ/m <sup>2</sup>	

Fuente: Alibaba

### 3.3.6.3. Tratamiento de lixiviados

Como se mencionó es necesario realizar un tratamiento a los lixiviados pues estos representan una fuente de contaminación ambiental, existen múltiples investigaciones con diversas

opciones de tratamiento, entre estas se encuentra el tratamiento mencionado por Carrión y Cuenca [33] en su investigación *Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichay* en el cual determinan que la planta más conocida como Jacinto de Agua es muy eficaz para la purificación de lixiviados producidos por las operaciones desarrolladas en un relleno sanitario, cabe recalcar que este tipo de implementaciones deben ser investigadas con mayor profundidad, pues cada relleno sanitario tienen sus propias características. De ser posible esta implementación, el tratamiento de lixiviados daría paso a su uso en el regadío de áreas verdes del propio relleno sanitario u otros.

#### 3.3.6.4. Zanja para precipitaciones pluviales

Para determinar el área que deben ocupar las zanjas de precipitación pluvial fue necesario tomar en cuenta la intensidad de lluvias de la zona, la que resulta ser de 110 mm/mes en promedio, por lo que al año viene siendo mucho mayor a 250 mm/año, por lo que de acuerdo a la clasificación de [12] esta área debe ser como mínimo 0,55 m<sup>2</sup> sin embargo, realizando los cálculos propuestos por la misma fuente, esta área resulta ser de 0,67 m<sup>2</sup>.

#### 3.3.7. Generación de biogás y sus componentes

Para hallar la generación futura de biogás presente en la composición de los residuos sólidos del Distrito La Coipa se utilizó el método de LangGEM mismo método que utilizan Madriga, Quispe y Vargas en su investigación [10], dicha investigación fue desarrollada en la ciudad de Juliaca. El software hace uso de valores como el potencial de generación de metano el L<sub>0</sub>; la concentración de otros gases como hexano en ppmv y el porcentaje de metano en los residuos y así aplicar la siguiente ecuación:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt}$$

Los valores a utilizar en el relleno sanitario de La Coipa son los siguientes 170 m<sup>3</sup>/mg para L<sub>0</sub>, 4000 ppmv como hexano para determinar el aglomerado de los otros gases que componen el biogás, y finalmente se consideró que el metano representa el 50% del biogás y el CO<sub>2</sub> representa 40%. , el 10% restante se trata de compuesto no metanogénicos, así como de H<sub>2</sub>S.

Tabla 42. Generación de biogás en el Relleno Sanitario de La Coipa


Año	Residuos dispuestos (t/año)	Total de gas de relleno			Metano (CH <sub>4</sub> )			Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )		
		(m <sup>3</sup> /hora)	(m <sup>3</sup> /día)	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /hora)	(m <sup>3</sup> /día)	(m <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /hora)	(m <sup>3</sup> /día)	(m <sup>3</sup> /año)
2020	1 043,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	1 083,11	1,98	47,53	17 346,87	0,99	23,76	8 673,44	0,79	1,17	6 938,75
2022	1 124,20	3,94	94,54	34 505,90	1,97	47,27	17 252,95	1,58	2,32	13 802,36
2023	1 166,86	5,88	141,13	51 511,21	2,94	70,56	25 755,60	2,35	3,46	20 604,48
2024	1 211,13	7,81	187,39	68 396,21	3,90	93,69	34 198,11	3,12	4,60	27 358,48
2025	1 257,08	9,73	233,41	85 193,68	4,86	116,70	42 596,84	3,89	5,72	34 077,47
2026	1 304,78	11,64	279,28	101 935,82	5,82	139,64	50 967,91	4,65	6,85	40 774,33
2027	1 354,28	13,55	325,08	118 654,29	6,77	162,54	59 327,15	5,42	7,97	47 461,72
2028	1 405,67	15,45	370,91	135 380,35	7,73	185,45	67 690,18	6,18	9,10	54 152,14
2029	1 459,00	17,37	416,84	152 144,84	8,68	208,42	76 072,42	6,95	10,22	60 857,94
2030	1 514,36	19,29	462,95	168 978,30	9,64	231,48	84 489,15	7,72	11,35	67 591,32
2031	1 571,81	21,22	509,35	185 910,99	10,61	254,67	92 955,50	8,49	12,49	74 364,40
2032	1 631,45	23,17	556,09	202 973,01	11,59	278,05	101 486,50	9,27	13,64	81 189,20
2033	1 693,35	25,14	603,27	220 194,27	12,57	301,64	110 097,14	10,05	14,79	88 077,71
2034	1 757,60	27,12	650,97	237 604,63	13,56	325,49	118 802,32	10,85	15,96	95 041,85
2035	1 824,28	29,14	699,27	255 233,91	14,57	349,64	127 616,95	11,65	17,15	102 093,56
2036	1 893,50	31,18	748,25	273 111,94	15,59	374,13	136 555,97	12,47	18,35	109 244,78
2037	1 965,34	33,25	798,00	291 268,67	16,62	399,00	145 634,33	13,30	19,57	116 507,47
2038	2 039,91	35,36	848,59	309 734,14	17,68	424,29	154 867,07	14,14	20,81	123 893,66
2039	2 117,31	37,50	900,11	328 538,63	18,75	450,05	164 269,31	15,00	22,07	131 415,45
2040	2 197,64	39,69	952,64	347 712,62	19,85	476,32	173 856,31	15,88	23,36	139 085,05
2041	2 281,02	41,93	1 006,27	367 286,91	20,96	503,13	183 643,45	16,77	24,68	146 914,76
2042	2 367,57	44,21	1 061,08	387 292,64	22,11	530,54	193 646,32	17,68	26,02	154 917,06
2043	2 457,40	46,55	1 117,15	407 761,37	23,27	558,58	203 880,69	18,62	27,40	163 104,55
2044	2 550,63	48,94	1 174,59	428 725,10	24,47	587,29	214 362,55	19,58	28,81	171 490,04
2045	2 647,41	51,39	1 233,47	450 216,34	25,70	616,73	225 108,17	20,56	30,25	180 086,54
2046	2 747,85	53,91	1 293,89	472 268,18	26,96	646,94	236 134,09	21,56	31,73	188 907,27
2047	2 852,11	56,50	1 355,93	494 914,31	28,25	677,96	247 457,15	22,60	33,25	197 965,72
2048	2 960,33	59,15	1 419,70	518 189,10	29,58	709,85	259 094,55	23,66	34,82	207 275,64
2049	3 072,64	61,89	1 485,28	542 127,64	30,94	742,64	271 063,82	24,75	36,43	216 851,06
2050	3 189,23	64,70	1 552,78	566 765,83	32,35	776,39	283 382,92	25,88	38,08	226 706,33
2051	3 310,23	67,60	1 622,30	592 140,38	33,80	811,15	296 070,19	27,04	39,79	236 856,15
2052	3 435,82	70,58	1 693,94	618 288,90	35,29	846,97	309 144,45	28,23	41,54	247 315,56
2053	3 566,18	73,66	1 767,81	645 249,97	36,83	883,90	322 624,98	29,46	43,35	258 099,99
2054	3 701,49	76,83	1 844,01	673 063,17	38,42	922,00	336 531,59	30,73	45,22	269 225,27
2055	0,00	80,11	1 922,66	701 769,17	40,06	961,33	350 884,59	32,04	47,15	280 707,67
2056	0,00	76,20	1 828,89	667 543,49	38,10	914,44	333 771,74	30,48	44,85	267 017,39
2057	0,00	72,49	1 739,69	634 987,01	36,24	869,85	317 493,50	28,99	42,66	253 994,80
2058	0,00	68,95	1 654,84	604 018,32	34,48	827,42	302 009,16	27,58	40,58	241 607,33

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.8. Drenes de captación de biogás

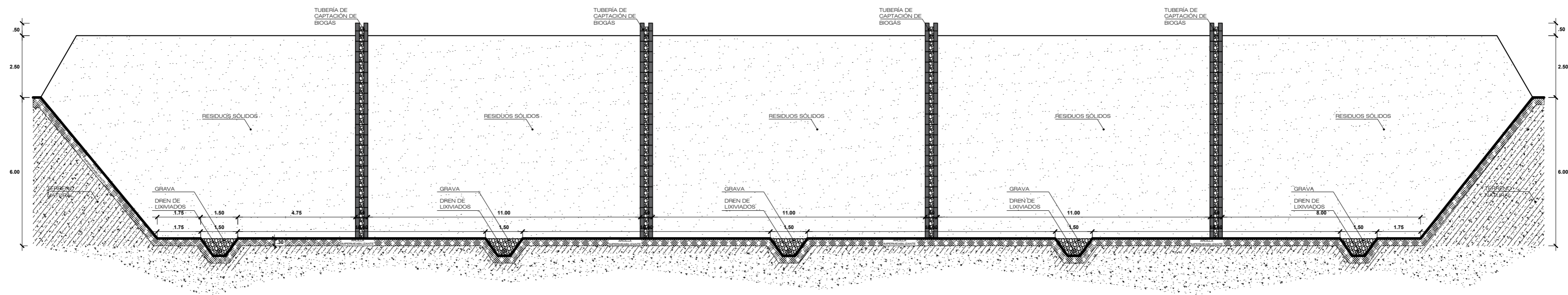
Para la captación de biogás serán necesarios drenes de 10” de diámetro como mínimo, los que estarán dispuestos cada 15 m de forma longitudinal, considerando que el área de las trincheras. La Tabla 42 presenta los resultados de la generación de biogás a partir de los residuos dispuestos en el relleno sanitario, este relleno tiene vida útil de hasta 34 años, por lo que al año siguiente de cierre se presenta el 2055 como el año de mayor generación de biogás y por lo tanto mayor capacidad de generación de biogás de 80,11 m<sup>3</sup>/hora. Para capturar este biogás se utilizan tubos de HDPE también, pueden ser los mismos que se usan para la captura de lixiviados, así mismo para la captura del biogás se debe tener en cuenta que se usan válvulas de control, como instrumento de medición manómetros, así mismo, se usan tubos lisos para el transporte de gas en la parte de la superficie y otros implementos como acoples, etc.

**Tabla 43. Tubos ranurados para captura de biogás**

Nombre	Especificaciones técnicas	Imagen
Tubos para captación de lixiviados	Modelo: 17/1SDR PN6 Longitud: 5m Diámetro: 160 mm Peso: 4,35 kg/m Número de ranuras: 8 Resistencia: 12 kJ/m <sup>2</sup>	

Fuente: Alibaba

A continuación, se ve en la siguiente lámina A-02 el corte de una trinchera del relleno sanitario, en la que se pueden ver las capas de arcilla impermeable, la geomembrana, la distribución de las tuberías de captura de lixiviados, así como, la distribución de las tuberías de captura de biogás. Se puede ver que las trincheras tienen 6 metros de profundidad con plataformas de 2,5 metros de altura, esto para utilizar el terreno de manera más eficiente y darle un periodo de vida útil más extenso, lo que favorece al proyecto y la generación de biogás y potencial de generación de energía eléctrica.



### CORTE DE TRINCHERA EN RELLENO SANITARIO

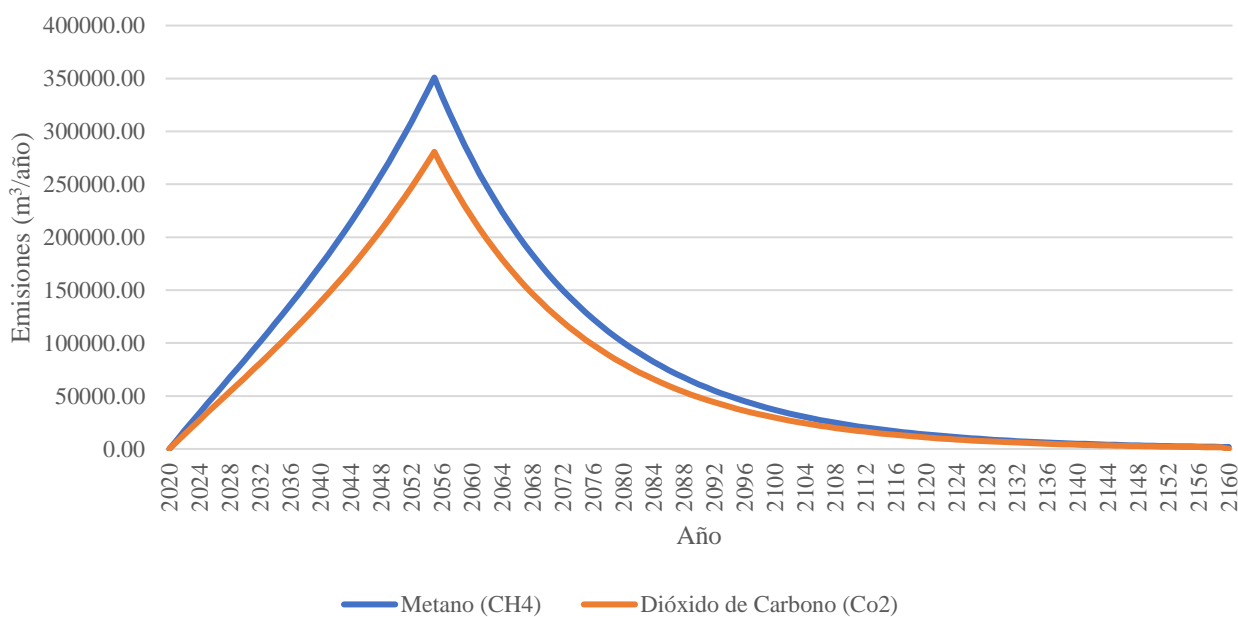
ESCALA: 1/125

PLANO:	<b>ARQUITECTURA- CORTE</b>	LAMINA
PROYECTO:	DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO CON CAPTURA DE BIOGÁS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO LA COIPA - CAJAMARCA	<b>A-02</b>
ALUMNA:	XIMENA ZUCETTY CRUZ CABRERA	
UBICACION:	DIST.: LA COIPA PROV.: SAN IGNACIO DEP.: CAJAMARCA	ESCALA 1 : 125

### 3.3.9. Potencial energético de captura de biogás

Para obtener el potencial energético de la captura del biogás se utiliza la Ecuación 4 y la electricidad que se generará a partir de este potencial la Ecuación 5. El biogás producido a partir de residuos sólidos municipales tiene un potencial disponible para generación eléctrica, el cual depende del rendimiento de acuerdo a diferentes escenarios, siendo el de un optimista de 40%, así mismo se debe tener en cuenta el PCI de biogás, el que es  $5\text{kWh/m}^3$  y el caudal capturado en  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{hora}$ , el cual fue presentado en la tabla 42. Así mismo, se debe considerar que, para hallar la energía eléctrica en el lapso de un año, se debe tener en cuenta la disponibilidad de 85% en el equipo y la disposición de residuos en un tiempo mínimo que produzca un flujo mínimo aprovechable, este es en después del primer año de disposición de residuos.

La tabla 44 muestra el potencial disponible y la estimación de generación eléctrica a partir del biogás capturado, se puede ver que el año de mayor generación es el 2055, un año después del cierre del relleno sanitario, a partir de ahí este se reduce conforme pasa el tiempo. La siguiente figura, grafica el potencial de generación de los gases del relleno sanitario en La Coipa, dicha gráfica se generó con el uso de LandGEM. En esta gráfica la línea negra representa el total del gas de relleno sanitario, la línea celeste representa la producción de metano, la línea naranja la producción de dióxido de carbono y la línea azul la producción de gases no metanogénicos, así mismo las líneas rosa y celeste representan 50% y 40% por lo que se encuentran al mismo nivel.



**Figura N°28: Potencial de generación de gases de relleno sanitario en el Distrito La Coipa**

**Tabla 44. Potencial disponible y generación de electricidad a partir de biogás capturado**

<b>Año</b>	<b>Metano (m3/hora)</b>	<b>Potencial disponible (kW)</b>	<b>Electricidad (kWh/año)</b>
2021	0,99	1,98	14 744,84
2022	1,97	3,94	29 330,01
2023	2,94	5,88	43 784,52
2024	3,90	7,81	58 136,78
2025	4,86	9,73	72 414,63
2026	5,82	11,64	86 645,45
2027	6,77	13,55	100 856,15
2028	7,73	15,45	115 073,30
2029	8,68	17,37	129 323,11
2030	9,64	19,29	143 631,55
2031	10,61	21,22	158 024,34
2032	11,59	23,17	172 527,06
2033	12,57	25,14	187 165,13
2034	13,56	27,12	201 963,94
2035	14,57	29,14	216 948,82
2036	15,59	31,18	232 145,15
2037	16,62	33,25	247 578,37
2038	17,68	35,36	263 274,02
2039	18,75	37,50	279 257,83
2040	19,85	39,69	295 555,72
2041	20,96	41,93	312 193,87
2042	22,11	44,21	329 198,75
2043	23,27	46,55	346 597,17
2044	24,47	48,94	364 416,33
2045	25,70	51,39	382 683,89
2046	26,96	53,91	401 427,95
2047	28,25	56,50	420 677,16
2048	29,58	59,15	440 460,73
2049	30,94	61,89	460 808,50
2050	32,35	64,70	481 750,96
2051	33,80	67,60	503 319,32
2052	35,29	70,58	525 545,56
2053	36,83	73,66	548 462,47
2054	38,42	76,83	572 103,70
2055	<b>40,06</b>	<b>80,11</b>	<b>596 503,80</b>
2056	38,10	76,20	567 411,96
2057	36,24	72,49	539 738,95
2058	34,48	68,95	513 415,58
2059	32,79	65,59	488 376,00

Fuente: En base a software LandGEM

**Tabla 45. Contraste entre demanda y producción de energía eléctrica**

Año	Demanda Total (kWh/año)	Producción de energía eléctrica (kWh/año)	Porcentaje de demanda
2021	467 135	14 745	2%
2022	484 524	29 330	2%
2023	502 572	43 785	2%
2024	521 306	58 137	1%
2025	540 751	72 415	1%
2026	560 933	86 645	13%
2027	581 881	100 856	13%
2028	603 623	115 073	13%
2029	626 191	129 323	13%
2030	649 615	143 632	13%
2031	673 927	158 024	23%
2032	699 163	172 527	24%
2033	725 355	187 165	24%
2034	752 541	201 964	24%
2035	780 759	216 949	24%
2036	810 048	232 145	24%
2037	840 447	247 578	24%
2038	872 001	263 274	24%
2039	904 751	279 258	24%
2040	938 744	295 556	24%
2041	974 026	312 194	24%
2042	1 010 648	329 199	24%
2043	1 048 658	346 597	24%
2044	1 088 111	364 416	24%
2045	1 129 061	382 684	24%
2046	1 171 565	401 428	24%
2047	1 215 681	420 677	23%
2048	1 261 471	440 461	23%
2049	1 308 998	460 808	23%
2050	1 358 329	481 751	23%
2051	1 409 531	503 319	23%
2052	1 462 676	525 546	23%
2053	1 517 838	548 462	23%
2054	1 575 092	572 104	23%
2055	1 634 518	596 504	23%
2056	1 696 200	567 412	23%

Fuente: En base a software LandGEM

En el relleno sanitario, además de encontrar trincheras y plataformas donde se disponen los residuos, también se encuentra una zona de administración para quienes realizan labores de gestión y otras áreas importantes para el funcionamiento de una infraestructura como esta. Es por ello que se necesita de energía eléctrica, sin embargo, se busca que en un momento dado la propia planta pueda abastecerse de energía eléctrica y evitar gastos. Para esto se realiza también un contraste entre la generación de energía a partir del biogás capturado y la demanda de la población, así mismo, es importante mencionar que la demanda de energía viene siendo dada por la energía que consumen los hogares de La Coipa, así como, el de las instituciones públicas. Dicho contraste puede ser observado en la Tabla 45, además en el Anexo 8. Potencial de abastecimiento de energía eléctrica por zonas se puede observar que a partir del segundo año de funcionamiento se puede dar abastecimiento al propio relleno sanitario, a partir del tercer año se puede abastecer la demanda de energía de autoabastecimiento y el de instituciones públicas y finalmente a partir del sexto año se puede abastecer también la demanda de una de las zonas de La Coipa y luego de 4 años más otra zona, esto es solo para conocer que tanto cubre el potencial de producción de energía a la demanda.

### **3.3.10. Tratamiento de biogás**

Para utilizar el biogás de un relleno sanitario para generación eléctrica debe pasar por un tratamiento previo en el cual primero se debe remover los componentes del biogás que pueden afectar el proceso de generación de energía como el  $H_2S$  pues estos componentes pueden además de malograr los equipos ser contaminantes de alto impacto para el medio ambiente, ya que el sulfuro de hidrógeno es el principal causante de lluvia ácida. Una vez removido estos componentes, recién puede ingresar al generador eléctrico para producir electricidad, luego es entregada al transformador eléctrico para un cambio de voltaje y finalmente a las líneas de red para su distribución a los hogares.

Para ello, primero se selecciona el método de purificación de la corriente de biogás, en la investigación de Varnero, Carú y Achondo titulada *Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica* [13] realizan una comparación entre diferentes tecnologías para la purificación de biogás.

**Tabla 46. Selección de método de purificación de biogás**

Método de tratamiento	Dificultad de Operación	Costo de inversión	Costo de operación	Ventajas	Inconvenientes
Adsorción con carbón activado, silicagel o tamices moleculares	Fácil	Bajo	Alto	Consigue hasta una concentración de 95% de metano.	El nivel de humedad puede afectar el proceso. Requiere de quema del llamado “gas de cola”.
Absorción con compuestos de hierro	Fácil	Bajo	Bajo	Opera a diferentes presiones, remueve CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S y vapor de agua.	Su eficiencia depende del compuesto químico seleccionado.
Absorción con compuestos orgánicos	Fácil	Medio	Alto	Uso de solución de aminas, que favorecen la eliminación de CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S.	Útil en producción de biogás de cantidades mayores o iguales a 15 000 m <sup>3</sup> /día.
Filtración con membranas	Media	Alto	Alto	Uso de membranas poliméricas no rugosas para eliminar CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S	Requiere de múltiples etapas, aplicación en grandes escalas y de elevados costos de instalación y operación.
Biológicos	Alta	Bajo	Medio	De menor impacto ambiental debido al uso de microorganismos.	Requiere de elevados tiempos de operación y de exactitud en las concentraciones de H <sub>2</sub> S

Fuente: En base a Varnero, Carú, Galleguillos y Achondo, 2012.

Entre las tecnologías descritas por Varnero, Carú, Galleguillos y Achondo la más conveniente para la presente investigación resulta ser la de absorción con compuestos químico, ya que es de fácil operación, bajo costo de inversión y operación, además este método remueve CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y vapor de agua, en un solo tratamiento. Así mismo, este tratamiento consta de la absorción de H<sub>2</sub>S a través de compuestos de hierro, entre estos se encuentra el óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ya que es de fácil regeneración y con gran capacidad de absorción, el cual es usado comúnmente; por otro lado, se debe tener mucho cuidado con la proporción de sulfuro de hidrógeno, pues de esta depende la demanda del componente, este componente puede purificar hasta 1600 m<sup>3</sup> con una bolsa de 800 kg de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Teniendo seleccionado el método de purificación se selecciona el equipo para dicho proceso que utilice el componente químico mencionado, para ello se utilizarán los siguientes criterios de comparación y discusión.

**Tabla 47. Matriz de enfrentamiento para selección de equipos**

Factores	Dimensiones	Seguridad	Proveedor	Vida útil	Costo de inversión	Conteo	Ponderación
Dimensiones		1	1	1	1	4	24%
Seguridad	1		1	0	1	3	18%
Proveedor	0	0		1	1	2	12%
Vida útil	1	1	1		1	4	24%
Costo de inversión	1	1	1	1		4	24%
TOTAL						17	100%

La Tabla 47 nos va permitir comparar los equipos a seleccionar de acuerdo a factores establecidos, los que de acuerdo a la ponderación lograda permitirán seleccionar los equipos más convenientes para el proceso de generación eléctrica a partir de biogás capturado del diseño del relleno sanitario.

**Tabla 48. Características técnicas de purificadores de biogás seleccionado**

Especificaciones técnicas	Imagen
Modelo: KDCL-50-WQ Grupo electrógeno de: 50 kW Tipo de salida: corriente alterna trifásica Frecuencia: 60 Hz Dimensiones: 2220 x 1500 x 2200 mm Tasa de flujo: 50 m <sup>3</sup> /h Diseño de vida: 20 años Potencia: 1,1 kW	
Modelo: KDCL-80-WQ Grupo electrógeno de: 80 kW Tipo de salida: corriente alterna trifásica Frecuencia: 60 Hz Dimensiones: 2000 x 2000 x 2200 mm Tasa de flujo: 100 m <sup>3</sup> /h Diseño de vida: 15 años Potencia: 1,1 kW	

La Tabla 47 muestra dos equipos de purificación de biogás, las principales diferencias entre ellas se encuentran en la tasa de flujo aceptable, por otro lado, la potencia y el grupo electrógeno con el que trabaja.

**Tabla 49. Características de comparación para selección de equipo purificación del biogás**

Crterios	Modelo KDCL 50 WQ	Modelo KDCL 80WQ
Dimensiones	1,44	1,92
Seguridad	0,72	1,8
Proveedor	0,72	0,96
Vida útil	2,16	1,92
Costo de inversión	2,16	1,68
<b>TOTAL</b>	<b>7,2</b>	<b>8,28</b>

La matriz de ponderación permite seleccionar el modelo KDCL-80-WQ, además de acuerdo a sus especificaciones técnicas este acepta una tasa de flujo de hasta 100 m<sup>3</sup>/h, este es el más conveniente ya que en el año pico de producción se tiene una corriente de biogás de hasta 80,11 m<sup>3</sup>/h.

### 3.3.11. Generación de energía eléctrica

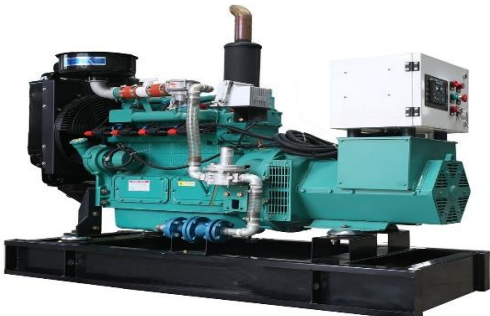

Una vez que el biogás es purificado y liberado de concentraciones elevadas de compuestos corrosivos, principalmente el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, puede ser utilizado en un sistema de generación eléctrica, cuando se trata del aprovechamiento de biogás, Cadena, Mora y Pérez [14] nos muestran tres tipos de plantas de generación utilizadas para el aprovechamiento de biogás.

**Tabla 50. Tipos de sistemas para generación eléctrica**

Tipo de planta para generación eléctrica	Descripción
Planta térmica con motor de combustión interna	Utiliza un grupo motor – generador este consta de un sistema de combustión interna, acoplador a un generador que produce energía eléctrica.
Planta térmica de ciclo combinado	En este caso existe un ciclo de potencia basado en dos ciclos diferentes de producción de energía, uno de turbina de vapor y otro de turbina de gas.
Planta térmica con microturbinas de gas	Utiliza pequeñas turbinas a gas que queman metano con aire a presión. Estas son de más baja eficiencia.

Entre las principales consideraciones de las características se debe tener en cuenta la frecuencia de entrega de energía, pues en Perú se utiliza una frecuencia de 60 Hz, otra característica es la potencia nominal la que debe ser considerada de acuerdo al potencial que será generada en la planta, siendo este de 80 kW el máximo en el año pico de producción de energía.

**Tabla 51. Características de comparación para selección de generador de energía**

Especificaciones técnicas	Imagen
Modelo: HTD-50GF Potencia nominal: 50kW Tensión nominal: 400 V Frecuencia: 60 Hz Dimensiones: 2250x840x1300 mm	
Modelo: HTG-100 GF Potencia nominal: 100 kW Tensión nominal; 400 V Frecuencia: 60 Hz Dimensiones: 2400x950x1300 mm	

**Tabla 52. Selección del generador eléctrico**

Criterios	Modelo HTD – 50 GF	Modelo HTG – 100 GF
Dimensiones	1,24	1,44
Seguridad	0,72	0,84
Proveedor	0,72	0,96
Vida útil	1,16	1,68
Costo de inversión	1,16	1,68
<b>TOTAL</b>	<b>5,00</b>	<b>6,66</b>

Se mencionan dos generadores eléctricos, la principal diferencia entre estos se encuentra en el potencial nominal, los que varían de 50kW a 100 kW, para seleccionar el más conveniente se tiene en cuenta el potencial de generación de energía eléctrica del proyecto, el que llega a ser de 80kW, sin embargo, se debe considerar un respaldo de 20%, por lo que se selecciona el equipo modelo HTG-100 GF de 100 kW con tensión nominal 400V. A sí mismo, es necesario seleccionar un transformador que eleve la potencia de energía para entregarla a la red de

distribución; según datos de la empresa distribuidora de la localidad, Electro Oriente, esta es de 60kVA. Un transformador tiene la función de cambiar el lenguaje de transmisión de energía, y es muy importante su uso para la conexión a la red.



**Figura N° 29: Transformador seleccionado**

Finalmente, esta energía debe ser transmitida a la red a través de un transformador, el que fue seleccionado teniendo en cuenta las características del generador eléctrico, pues como se ve en la tabla 43, este generador entrega un voltaje de 400V por lo tanto, necesitamos un transformador que convierta este voltaje para la distribución a la red.

**Tabla 53. Especificaciones técnicas transformador de energía eléctrica**

<b>Marca</b>	Boerstn
<b>Modelo</b>	S9/S11
<b>Tensión Nominal</b>	400 V
<b>Frecuencia</b>	60 Hz
<b>Dimensiones</b>	1,05 x 0,53 x 1,432 (m)
<b>Potencial</b>	100 kW

Se realizó un balance de materia y energía en el año pico de producción de energía, un año después del cierre del relleno sanitario, donde se produce la mayor cantidad de biogás, de este resultó que se obtiene una cantidad de 596 503,80 kWh/año.

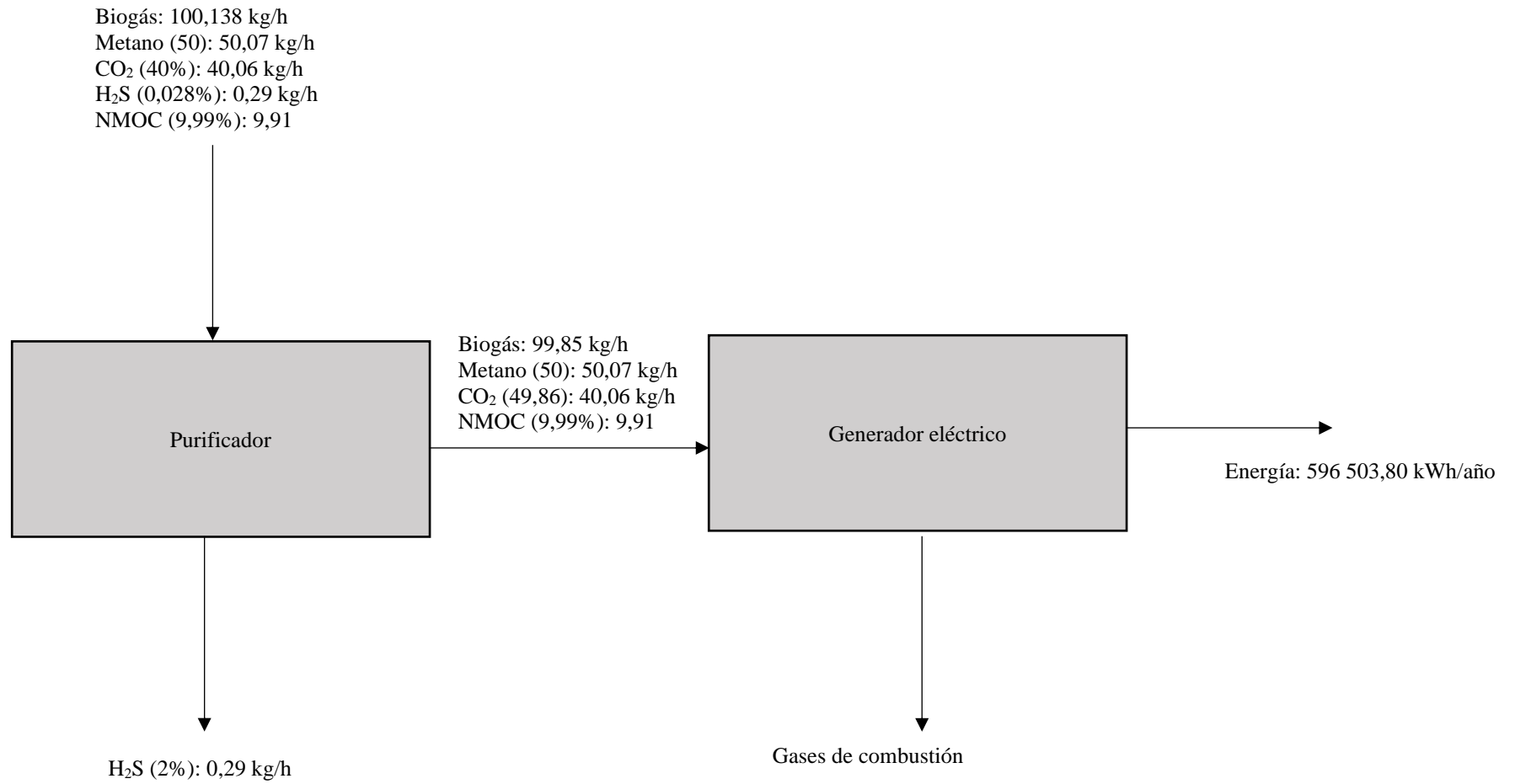



Figura N° 30: Balance de materia y energía

Al inicio de operaciones, las que constituyen recolección de residuos únicamente es necesario cubrir la necesidad energética inicial por lo que se debe considerar un grupo electrógeno, este será utilizado el primer año de funcionamiento, y luego continuamente para el funcionamiento del purificador; posteriormente se podrá hacer uso del biogás generado para el abastecimiento de energía eléctrica para las áreas administrativas

**Tabla 54. Selección del grupo electrógeno**

Especificaciones técnicas	Imagen
Modelo: HTG-100 GF Potencia nominal: 80 kW Frecuencia: 60 Hz Combustible: Diesel Dimensiones: 2000x1730x1300 mm	

La elección del grupo electrógeno depende principalmente del purificador, como se presentó anteriormente el purificador seleccionado utiliza un grupo electrógeno de 80 kW, por lo que se selecciona uno de este potencial para el correcto abastecimiento de energía. Un grupo electrógeno es fundamental para un proyecto energético, puede ser utilizado para compensar un fallo de red o contar con electricidad ininterrumpida de energía, en este caso será para el segundo, para contar con electricidad que abastezca la planta de forma continua.

Así mismo, a partir de la selección del equipo se realiza el cálculo del espacio físico que necesita, como se muestra a continuación utilizando el método de Guerchet, donde según [34] es importante establecer los espacios físicos que involucran el uso de la maquinaria a partir de los siguientes cálculos.

$$St = Ss + Sg + Se$$

Donde:

St: es el espacio físico total o el área total

Ss: es la superficie estática que ocupa el equipo

$$Ss = \text{largo} \times \text{ancho}$$

Sg: superficie de gravitación, o la ocupada por el operario para uso del equipo

$$Sg = Ss \times N(\text{número de lados de equipo})$$

Se: es la superficie de evolución, reservada para desplazamientos del personal

$$Se = (Ss + Sg) \times K$$

Siendo,

$$K = \frac{h_{EM}}{2 \times h_{EE}}$$

Donde:

$h_{em}$ : el promedio ponderado de altura de los elementos móviles

$h_{EE}$ : el promedio ponderado de la altura de los elementos estáticos

A partir de lo mencionado, se obtienen los siguientes resultados:

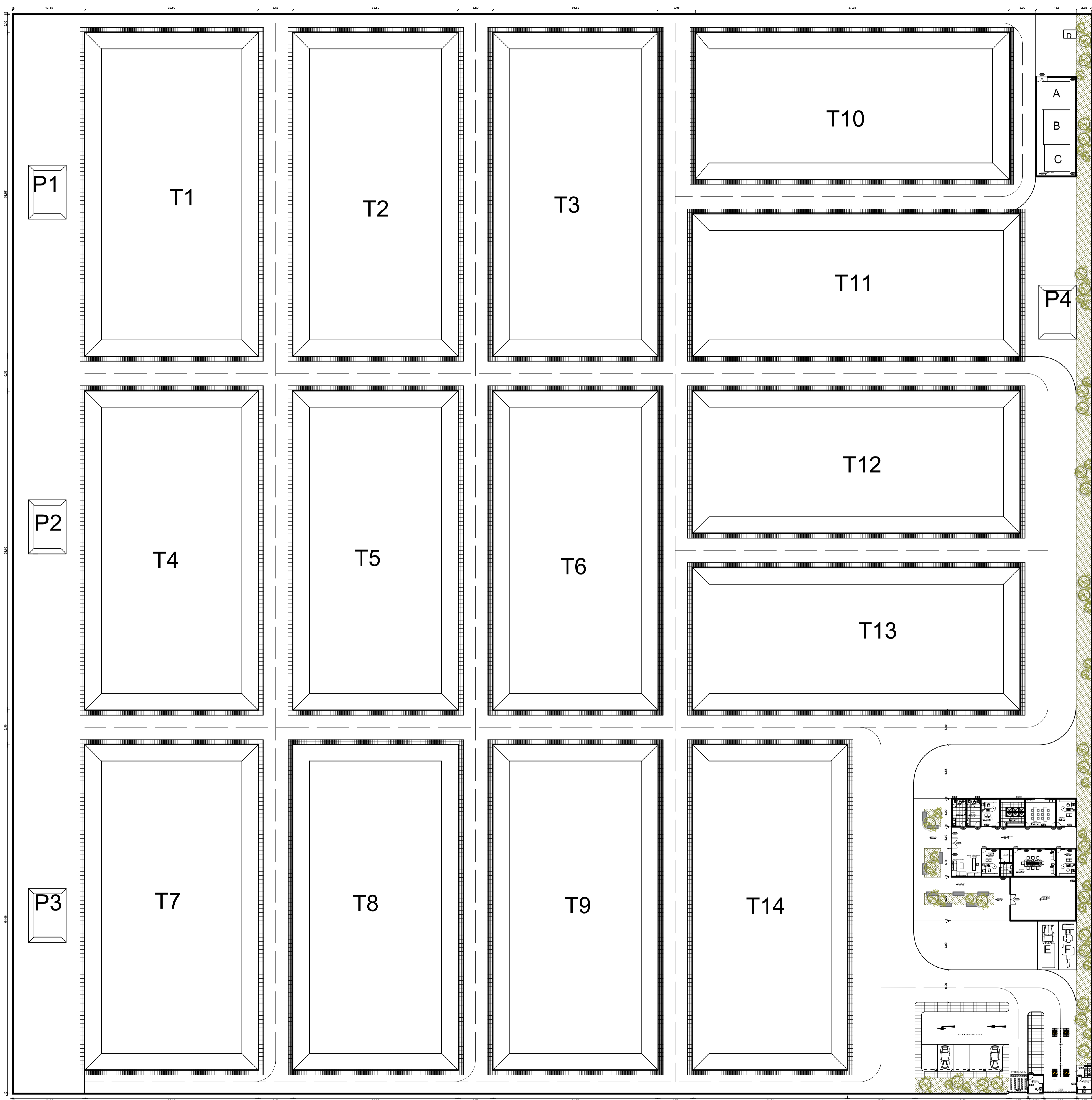
**Tabla 55. Guerchet de máquinas para producción de energía eléctrica**

Equipo	St	Ss	Sg	Se
Purificador de biogás	27,27	4	16	7
Generador eléctrico	31,90	4,68	18,72	8,51
Transformador	3,79	0,56	2,23	1,01
Grupo electrógeno	23,59	3,46	13,84	6,29
TOTAL	86,57	12,7	50,79	23

La lámina A-03 muestra el plano del relleno sanitario, donde se encuentran las 14 trincheras, las 4 pozas de lixiviados, el área de administración, así mismo, se pueden observar las vías de acceso en el interior y el área de máquinas.

### 3.3.12. Recurso humano para el relleno sanitario

Para el desarrollo diario de las diferentes actividades en el relleno sanitario, es necesario contar con el recurso humano adecuado, este personal debe ser adiestrado para su trabajo, pues debe tener conocimiento para ejecutar las actividades que serán necesarias durante la operación de este. Para estimar la cantidad de personal necesario y de forma práctica se puede estimar está de acuerdo al tipo de relleno sanitario, en este caso de tipo manual, donde es necesario contar con operarios para el tratamiento de los residuos ya que estos son dispuestos principalmente con herramientas, y en menor uso maquinaria pesada. Así mismo, se considera la necesidad de personal profesional y técnico, como se detalla a continuación.



CUADRO DE VANOS					
PUERTAS					
TIPO	LARGO (METROS)	ALTO (METROS)	ALFEIZ (METROS)	CANTID. (UNIDAD)	OBSERVACIONES
P1	6.00	2.60	---	1	PORTÓN DE FIERRO CON PLANCHA METÁLICA
P2	3.50	2.60	---	1	PORTÓN DE FIERRO CON PLANCHA METÁLICA
P3	2.00	2.60	---	3	PUERTA CONTRAPLACADA DE MADERA
P4	0.90	2.60	---	3	PUERTA CONTRAPLACADA DE MADERA
P5	0.80	2.60	---	9	PUERTA CONTRAPLACADA DE MADERA
P6	0.70	2.60	---	1	PUERTA CONTRAPLACADA DE MADERA

VENTANAS					
TIPO	LARGO (METROS)	ALTO (METROS)	ALFEIZ (METROS)	CANTID. (UNIDAD)	OBSERVACIONES
V1	1.00	0.50	2.10	6	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO 01 DIV. CENTRALES CORREDIZAS
V2	2.00	1.60	1.00	4	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO 01 DIV. CENTRALES CORREDIZAS
V3	1.20	1.60	1.00	2	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO 01 DIV. LATERAL CORREDIZA
V4	2.00	0.50	2.10	4	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO 01 DIV. CENTRALES CORREDIZAS

MAMPARAS					
TIPO	LARGO (METROS)	ALTO (METROS)	ALFEIZ (METROS)	CANTID. (UNIDAD)	OBSERVACIONES
M1	2.00	2.60	---	1	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO HOJA FIJA
M2	5.15	2.60	---	1	VIDRIO SIMPLE TRANSPARENTE 6 MM INCOLORO HOJA FIJA



MÁQUINAS Y EQUIPOS	
TIPO	DESCRIPCIÓN
A	MÁQUINA PURIFICADORA DE GAS
B	GENERADOR ELECTRICO
C	GRUPO ELECTRÓGENO
D	TRANSFORMADOR
E	ESTACIONAMIENTO CAMIÓN DE BASURA
F	ESTACIONAMIENTO COMPACTADOR DE BASURA
T (01-13)	TRINCHERAS
P(01-04)	POZAS

PLANO:	<b>ARQUITECTURA</b>	LÁMINA:	<b>A-03</b>	
PROYECTO:	DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO CON CAPTURA DE BIOGÁS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO LA COIPA - CAJAMARCA			
ALUMNA:	XIMENA ZUCETTY CRUZ CABRERA		ESCALA:	1: 400
UBICACION:	DIST.: LA COIPA PROV.: SAN IGNACIO DEP.: CAJAMARCA			

- Gerente General

Profesional a cargo de la dirección de la organización, por lo que debe conocer muy bien el rubro de las energías renovables no convencionales en Perú, debe planificar estratégicamente la organización, así mismo, se busca que este mismo profesional lleve las cuentas de la organización, por lo que debe estar preparado para administrar los recursos de la organización de manera eficiente. El perfil se ajusta a un Ingeniero Industrial.

- Jefe de Logística y Mantenimiento

Profesional a cargo del abastecimiento de recursos tanto administrativos, así como, los necesarios para el desarrollo de operaciones. Además, este es el profesional a cargo del mantenimiento de la maquinaria, quien debe velar por el mayor rendimiento de los equipos y el cuidado del mismo. De preferencia de la carrera de Ingeniería Industrial, pues su perfil de egreso se ajusta a lo requerido.

- Jefe de Gestión Ambiental

Profesional a cargo del control del cuidado al medio ambiente, principalmente se encarga del control de calidad de aguas subterráneas y superficiales, control de calidad de aire y control de vectores. El perfil que se ajusta debe ser un Ingeniero Químico, que trabaja en un laboratorio realizando constantemente pruebas de control.

- Jefe de Recursos Humanos

Profesional a cargo de la selección, contratación, capacitación y control del recurso humano de la organización. Para ello es necesario contar con el perfil de un Ingeniero Industrial con experiencia en el rubro, pues deberá saber las necesidades de capacitación del personal.

- Contador

Profesional a cargo del control de las cuentas, de los gastos asociados al desarrollo de las actividades propias de la organización, como de los ingresos sujetos a la venta de energía, por lo que debe ser un contador con experiencia en el rubro, que conozca el sistema tarifario de las energías renovables no convencionales.

- Secretaria

Profesional a cargo de la organización y control de documentación y comunicación entre las diferentes áreas, el perfil de este profesional debe considerarse como técnico o profesional.

- Operarios

Personal dirigido a las operaciones diarias necesarias en el relleno sanitario, ellos tienen a cargo actividades para la disposición final de los residuos, una vez llegados a la infraestructura. La siguiente tabla muestra el requerimiento de operarios, y las actividades a cargo, de acuerdo al tipo de relleno sanitario según el MINAM muestra en [12], en el que para un relleno sanitario semi mecanizado la disposición se realiza tanto con herramientas manuales como con maquinaria.

**Tabla 56. Requerimiento de mano de obra para operación de relleno sanitario**

Descripción de actividades	Valores por actividad		Rendimiento por hora		Jornada (horas)	Total (persona/día)
	Cantidad	Unidad	Rendimiento	Unidad		
Movimiento de residuos	5,77	t/día	0,95	t/hombre	6	1,01
Compactación de residuos (superficie)	8,02	m <sup>2</sup> /día	20	m <sup>2</sup> /hombre	6	0,07
Movimiento de material de cobertura	2,41	m <sup>3</sup> /día	0,35	m <sup>3</sup> /hombre	6	1,15
Compactación del material de cobertura (superficie)	8,02	m <sup>2</sup> /día	20	m <sup>2</sup> /hombre	6	0,07
<b>TOTAL</b>						<b>3</b>

Fuente: Ministerio del ambiente, 2018

- Registrador

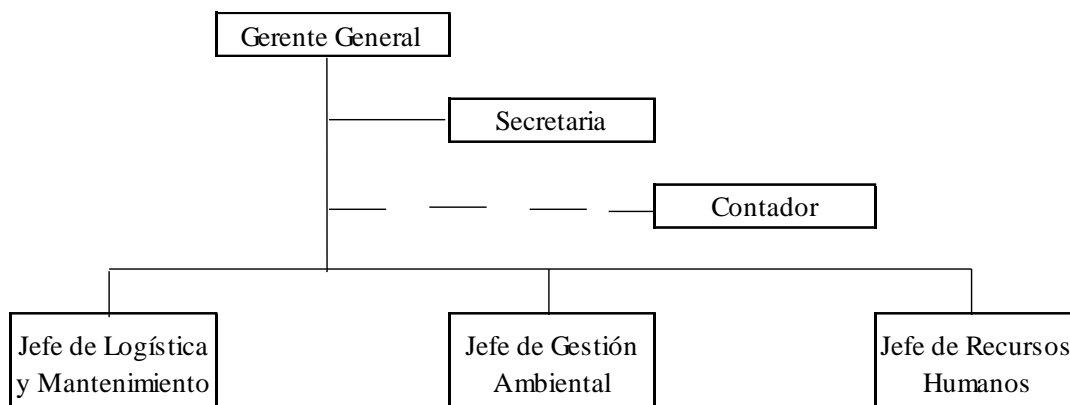
Personal de preferencia con estudios básicos concluidos, pues debe tener la capacidad de anotar y organizar cifras estadísticas. Debe ser detallado/a en el conocimiento de los datos que sean necesarios de anotar por cada vehículo que ingresa.

- Vigilantes

Deben ser personas con características especiales para el desempeño de actividades de vigilancia, tales como estado físico, manejo de armas, prudencia y juicio.

- Operadores de maquinaria

Personal para operar la maquinaria, capacitadas para el manejo de las mismas, de preferencia con experiencia. Deben tener conocimientos mínimos de mecánica para remediar situaciones imprevistas en la operación de la máquina que van a operar o para casos de emergencia. Igualmente, han de ser entrenados en el manejo de basura y en las precauciones y cuidados que deben tenerse en caso de emergencias.



**Figura N°31: Organigrama del Relleno Sanitario La Coipa**

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.13. Maquinaria para operaciones en el relleno sanitario

Las principales actividades que ameritan el uso de maquinaria son el traslado de material de cobertura para cubrir las celdas, el compactador para ajustar las celdas y también se hará uso de herramientas manuales para el manejo de residuos, como palas y pisonés de mano. Se tomará en cuenta un camión de recolección de residuos, ya que se busca brindar este servicio a La Coipa, además, anteriormente se mencionó que los pobladores están dispuestos a pagar un pequeño monto adicional para contar con este servicio.

- Camión de basura

Actualmente, la municipalidad distrital alquila un camión de basura a un externo y contrata a un conductor junto con otros operarios para la recolección de residuos sólidos municipales, por lo que se busca brindar este servicio, se debe adquirir un camión de basura con capacidad suficiente para recolectar el volumen de residuos hasta el cierre del relleno, es por ello que se seleccionó un camión de 10 toneladas de capacidad.

**Tabla 57. Selección de camión de basura**

Especificaciones Técnicas	Imagen
Tipo de combustible: Diesel Dimensiones: 8000 x 2500 x 3250 mm Capacidad: 10 t	

- Balanza electrónica

Se trata de un mecanismo para tomar datos sobre los residuos que ingresan a la infraestructura, existen muchos tipos de estructuras de balanzas, entre estas se seleccionaron tres para comparar y seleccionar. La diferencia se encuentra principalmente en el material del que están hechos, de concreto y metal, así mismo, las diferencias también se encuentran en el tipo de instalación y el sistema con el que trabajan.

**Tabla 58. Selección de balanza electrónica**



Especificaciones Técnicas	Imagen
Capacidad: 20 toneladas Dimensiones: 9 m x 3,2 m Material: Concreto Sistema: Digital computarizado	
Capacidad: 20 toneladas Dimensiones: 9 m x 3,2 m Puesta: elevación de 20 cm Material: Metálica Sistema: Digital computarizado	
Capacidad: 20 toneladas Dimensiones: 9 m x 3,2 m Puesta: elevación de 5 cm Tipo: Sobrepeso Sistema: Digital inalámbrico	

Los tres tipos de balanzas tienen buenas referencias en cuanto a exactitud de medida, así mismo, su elección tiene relación a las características del camión de recolección de basura actual, el que en la actualidad tiene una capacidad de 3 toneladas, sin embargo, de acuerdo a la proyección de generación este camión recolector debe ser cambiado en el transcurso de los años, pues con el tiempo el camión debe tener una capacidad de 10 toneladas como mínimo. Además, para la selección de la balanza se tiene en cuenta el peso del mismo camión, el que oscila entre 6 a 7 toneladas, por lo tanto, la capacidad mínima de la balanza debe ser de 17 toneladas. También se debe tener en cuenta las dimensiones del actual camión de basura. De acuerdo a las especificaciones técnicas mencionadas, se selecciona la balanza digital inalámbrica, ya que esta no requiere de gran inversión, además no existe mayor dificultad de instalación y el sistema es de fácil manipulación.

- Compactador de residuos sólidos

Este vehículo permite trasladar y compactar los residuos a disponer en el relleno sanitario. A continuación, se muestran dos camiones compactadores de basura, encontrados en la plataforma de comercio electrónico por internet, para comparar y seleccionar el más conveniente, a partir de las especificaciones técnicas con las que cuenta. Para ello tenemos en cuenta el principal dato de volumen diario de residuos sólidos a tratar de la población, los que se pueden ver en la Tabla 33 en el desarrollo del primer objetivo. Se puede ver que se llega a disponer de 10 t/día de residuos, además del material de cobertura que se tendrá que movilizar y compactar.

**Tabla 59. Selección de compactador de residuos sólidos**



Especificaciones Técnicas	Imagen
Modelo: SR23MR Tipo de combustible: Diesel Dimensiones: 7360 x 3200 x 3640 mm Capacidad: 8 m <sup>3</sup>	
Modelo: SR28 MR Tipo de combustible: Diesel Dimensiones: 7930x 3660 x 3990 mm Capacidad: 12 m <sup>3</sup>	

El compactador de residuos sólidos municipales más conveniente para las características de funcionamiento del relleno sanitario es el primero, el cual tiene una capacidad de 8 m<sup>3</sup>, esta capacidad es suficiente para el volumen diario de residuos a tratar.

- Compactador manual de residuos

Este vehículo permite compactar el material de cobertura diaria con los residuos ya compactados anteriormente. A continuación, se muestran dos alternativas de equipo para esta actividad, además de las diferencias en precios, las especificaciones técnicas muestran características comparables como son la fuerza de compactación y la profundidad de compactación. Por lo tanto, la elección es el modelo de motor GX160, con fuerza de compactación de 15 kN y profundidad de compactación de 30 cm.



**Tabla 60. Selección de camión compactador manual de residuos sólidos**

Especificaciones Técnicas	Imagen
Modelo: GX160 Fuerza de compactación: 15 kN Medida de plato: 55 x 46 cm Profundidad de compactación: 30 cm Tipo de combustible: Gasolina	
Modelo: GX 100 Fuerza de compactación: 13 kN Medida de plato: 34 x 29 cm Profundidad de compactación: 20 cm Tipo de combustible: Gasolina	

- Herramientas manuales

Entre otros se debe tener en cuenta contar con herramientas manuales que permitan continuar trabajando en casos de averías de la maquinaria, como un plan de contingencia.

**Tabla 61. Herramientas manuales**

Herramienta	Especificaciones Técnicas	Imagen
Pala	Tipo: Lampa Ancho: 26 cm Profundidad: 4 cm Peso: 1,5 kg	
Carretilla	Tipo: Caretilla Capacidad máxima de carga: 197 kg Temperatura máxima: 50 kg	

### **3.4. Realización del análisis costo – beneficio y ambiental de la propuesta del sistema de generación eléctrica a partir de la captura de biogás del diseño de un relleno sanitario**

#### **3.4.1. Contexto económico de la generación de electricidad a partir de biogás y el manejo de residuos sólidos municipales por entidades públicas**

De acuerdo con Tamayo y Jacome [35], Perú desde el año 2014 viene adoptando políticas para la introducción de fuentes renovables no convencionales de generación de energía eléctrica, con el principal objetivo de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, para lo que se promulgó el Decreto Legislativo N°1002. Así mismo, en el Decreto Supremo N°012-2011-EM [36] *Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables*, en esta norma se establecen los criterios técnicos – económico y los alcances relacionados a la producción de electricidad de fuentes de energía renovable para la venta al Sistema Interconectado Nacional (SEIN).

El principal distribuidor en la zona de La Coipa es Electro Oriente, quienes durante el año 2018 han mostrado un incremento de más de 4% en el suministro de energía eléctrica con

respecto al año 2017 [37], pasando de 915,70 a 952 GWh, de esta 71,20 GWh proviene de generación térmica, 135,28 GWh proviene de generación hidráulica y por último 746,38 GWh proviene de la compra de energía al SEIN y GENRENT.

Tacamayo y Jacome [35] también mencionan que Perú es un país donde se destaca principalmente la hidroelectricidad como sustento de generación de energía eléctrica, siendo esta una fuente de energía renovable demostrando de inicio que se vienen realizando avances en el desarrollo de concesiones para inversiones en uso de energía eléctrica a partir de fuente renovables. A la fecha se cuentan con proyectos de generación de energía eléctrica a partir de biomasa estos son Huayoloro, Paramonga, La Gringa V y El Callao. Así mismo, algunos de estos proyectos continúan trabajando a la fecha resultando ser rentables.

Por otro lado, el manejo de los residuos sólidos municipales puede ser realizado por una EO – RS o Empresa Operadora de Residuos Sólidos, o por la misma municipalidad de acuerdo a la Ley Integral de Residuos Sólidos [3]. Así mismo, según Municipio al día [38] una municipalidad puede ejecutar obras de electrificación, aunque la Ley Orgánica de Municipalidades no lo señala como una función principal, pero es parte de su misión promover el desarrollo local y prestación de servicios, aunque este hecho está planteado cuando los actores competentes no lo hacen, para lo que se otorgan concesiones para minicentrales de generación eléctrica con potencia instalada mayor a 500 kW y menor a 10 MW. A partir de este antecedente se plantea el siguiente escenario la municipalidad realiza el proyecto en concesión con una empresa privada, a través de cofinanciación bajo la modalidad Asociación Público Privado (APP) por tratarse de un proyecto local la estructuración del contrato, la responsabilidad fiscal y capacidad presupuestal está bajo la venia del MEF como lo menciona el autor Bonifaz en *Tres casos de financiamiento de las Asociaciones Público – Privadas en Perú* [39].

Además, se tiene en cuenta la investigación de Cadena, Mora y Pérez [14] mencionada anteriormente donde se plantea factores importantes a tener en cuenta para poder obtener el costo beneficio del proyecto de investigación, estos son el sistema de generación de energía eléctrica, el costo de conexión a la red, así como, el costo de mantenimiento y operación; teniendo en cuenta esos factores se enmarca la estructura de la evaluación económica financiera del presente proyecto.

### 3.4.2. Inversiones

#### 3.4.2.1. Inversión fija tangible

En las inversiones fijas se encuentran dos tipos de elementos: los bienes físicos, es decir bienes tangibles, así como los intangibles. Aquellos que son tangibles se caracterizan por su materialidad y por lo que están sujetos a la depreciación, en ese caso estos vienen a ser equipos y maquinarias.

Así mismo, dentro de este rubro se encuentra también la construcción, en este caso la construcción es de la zona administrativa y de trincheras y plataformas, también se encuentra la construcción de las pozas de lixiviados, estas inversiones son asumidas por la municipalidad, pues finalmente es una infraestructura para uso de disposición de residuos sólidos municipales, y la operación y mantenimiento de esta infraestructura será entregada en concesión a la empresa privada para la gestión y explotación de los recursos. Para la compra de la maquinaria la empresa pedirá financiamiento.

**Tabla 62. Inversión fija**

Maquinaria o equipo	Cantidad	Precio	Total
Construcción	1	S/. 2 092 677,22	S/. 2 092 677,22
Grupo electrógeno	1	S/. 110 000,00	S/. 110 000,00
Purificador	1	S/. 13 000,00	S/. 13 000,00
Generador eléctrico	1	S/. 80 000,00	S/. 80 000,00
Transformador	1	S/. 33 200,00	S/. 33 200,00
Camión compactador	1	S/. 80 000,00	S/. 80 000,00
Camión de basura	1	S/. 90 000,00	S/. 90 000,00
Balanza de pesaje	1	S/. 20 000,00	S/. 20 000,00
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 2 518 877,22</b>

El siguiente cuadro muestra el detalle de la inversión en construcción en la que incurriría la municipalidad para la construcción del relleno sanitario, este detalle fue adaptado de la *Guía para la Elaboración de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil* [40] propuesto por el Ministerio del Ambiente y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional – USAID/Perú.

**Tabla 63. Detalle de construcción del relleno sanitario**

Construcciones	Unidad de medida	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Obras provisionales para dar inicio a la obra	glb	1 S/.	8 000,00	S/. 8 000,00
Cartel de identificación del proyecto 3,6 x 2,4 metros	uni	1 S/.	1 440,00	S/. 1 440,00
Área de oficinas	m <sup>2</sup>	685 S/.	200,00	S/. 137 052,00
Instalación sanitaria (agua y desagüe)	glb	1 S/.	9 600,00	S/. 9 600,00
Tanque séptico	uni	1 S/.	2 000,00	S/. 2 000,00
Pozo de percolación	uni	1 S/.	2 600,00	S/. 2 600,00
Reservorio de agua	uni	1 S/.	3 600,00	S/. 3 600,00
Construcción de vías de acceso interior	km	1 S/.	36 000,00	S/. 43 200,00
Construcción de celdas de residuos sólidos	uni	14 S/.	71 094,94	S/. 995 329,22
Impermeabilización de la base y taludes de las celdas	m <sup>3</sup>	20 736 S/.	16,00	S/. 331 776,00
Construcción de drenes de lixiviados	ml	3 080 S/.	40,00	S/. 123 200,00
Construcción de drenes de captación de gas	m <sup>3</sup>	560 S/.	96,00	S/. 53 760,00
Cerco de seguridad	ml	8 000 S/.	12,00	S/. 96 000,00
Cerco vivo	ml	8 000 S/.	9,60	S/. 76 800,00
Puerta de ingreso	uni	2 S/.	640,00	S/. 1 280,00
Construcción de poza para lixiviados	m <sup>2</sup>	350 S/.	128,00	S/. 44 800,00
Construcción de canal pluvial	ml	4 000 S/.	40,00	S/. 160 000,00
Construcción de taller para máquinas	m <sup>2</sup>	140 S/.	16,00	S/. 2 240,00
<b>TOTAL</b>				<b>S/. 2 092 677,22</b>

Fuente: Ministerio del Ambiente y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, 2013

Además, la siguiente tabla muestra la depreciación de la maquinaria en un plazo de 20 años, la empresa privada al encargarse de las operaciones y mantenimiento debe hacerse cargo de los costos de depreciación cuando sea necesario reponer la maquinaria por el tiempo de vida útil de estas.

**Tabla 64. Depreciación de la maquinaria**

Maquinaria o equipo	Cantidad	Precio	Total	Depreciación anual
Grupo electrógeno	1	S/. 110 000,00	S/. 110 000,00	S/. 5 500,00
Purificador	1	S/. 13 000,00	S/. 13 000,00	S/. 650,00
Generador eléctrico	1	S/. 80 000,00	S/. 80 000,00	S/. 4 000,00
Transformador	1	S/. 33 200,00	S/. 33 200,00	S/. 1 660,00
Camión compactador	1	S/. 80 000,00	S/. 80 000,00	S/. 4 000,00
Camión de basura	1	S/. 90 000,00	S/. 90 000,00	S/. 4 500,00
Balanza de pesaje	1	S/. 20 000,00	S/. 20 000,00	S/. 1 000,00
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 426 200,00</b>	<b>S/. 21 310,00</b>

### 3.4.2.2. Inversión fija intangible

Por otro lado, tenemos la inversión fija intangible, esta inversión permite poner en marcha el proyecto, sin los permisos pertinentes y estudios previos no podría llevarse a cabo, pues estos son necesarios muchas veces por leyes y reglamentos nacionales.

**Tabla 65. Inversión intangible**

Gastos pre operativos	Costo
Permisos municipales	S/. 70,40
Estudios previos	S/. 15 000,00
Planos	S/. 10 000,00
Certificado de defensa civil	S/. 210,36
<b>Total</b>	<b>S/. 25 280,76</b>

Por lo tanto, la inversión total se presenta en el siguiente cuadro, en el que se ve la inversión del promotor del proyecto que vendría a ser la municipalidad quien tiene el mayor porcentaje de inversión, pues ellos financiarán la construcción de la infraestructura, además de los equipos de oficina y laboratorio, sin embargo, estos en un primer momento deben ser cubiertos por la empresa, por lo que buscará un primer financiamiento, que será pagado al concluir la obra cuando la municipalidad entregue el monto acordado por la obra. Un segundo financiamiento viene a ser el monto para la maquinaria para la captura de biogás y su transformación a energía eléctrica, a este monto se le sumarán los intereses no pagados del primer préstamo. Por otro lado, el capital de trabajo viene a ser el monto del costo de producción del primer mes de operaciones.

**Tabla 66. Inversión total fija**

Descripción	Inversión total	Municipalidad	Empresa
Capital de trabajo	S/. 3 321,44		S/. 3 321,44
<i>Inversión tangible</i>			
Construcciones	S/. 2 092 677,22	S/. 2 092 677,22	
Equipo de oficina	S/. 16 700,00	S/. 16 700,00	
Equipo de laboratorio	S/. 5 308,00	S/. 5 308,00	
Maquinaria	S/. 236 200,00		S/. 236 200,00
Equipos de producción	S/. 190 000,00		S/. 190 000,00
Implementos de seguridad	S/. 1 658,20		S/. 1 658,20
Herramientas	S/. 2 735,50		S/. 2 735,50
<b>Total de inversión tangible</b>	<b>S/. 2 545 278,92</b>	<b>S/. 2 114 685,22</b>	<b>S/. 430 593,70</b>
<i>Inversión intangible</i>			
Gastos pre operativos	S/. 25 280,00		S/. 25 280,00
<b>Total inversión intangible</b>	<b>S/. 25 280,00</b>	<b>S/. -</b>	<b>S/. 25 280,00</b>
Imprevistos 5%	S/. 128 527,95	S/. 106 678,20	S/. 21 849,75
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>S/. 2 702 408,30</b>	<b>S/. 2 221 363,41</b>	<b>S/. 481 044,89</b>
Porcentaje		82%	18%

Al monto de inversión correspondiente a la empresa se le agregarán los intereses del primer préstamo para cubrir la construcción.

### 3.4.3. Financiamiento

Se realizó una indagación de las diferentes propuestas de financiamiento que han tenido diversos proyectos con características en común a este, proyectos de desarrollo energético empleando energía renovable, se seleccionó el mismo tipo de financiamiento que realizó la Cooperación Financiera Alemana [41] para financiar parcialmente el “Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética – II Etapa” para COFIDE, el préstamo tiene las siguiente condiciones, un plazo total de 12 años y una tasa fija anual de 2%. Para la evaluación económica financiera de la presente investigación se tomó en cuenta ese tipo de financiamiento. La siguiente tabla muestra los intereses anuales a pagar según el monto de del primer y segundo préstamo.

**Tabla 67. Servicio de deuda préstamo 1**

Año	Deuda	Interés	Amortización	Cuota
1	S/. 2 221 363,41	S/. 44 427,27	S/. 0,00	S/. 2 265 790,68

El primer año al no percibir la ganancia suficiente para cubrir los intereses mes a mes, se tendrá un periodo de gracia de un año, luego el préstamo quedará cubierto con el monto a cubrir por la municipalidad, quedando los intereses por pagar que son tomados en cuenta en un segundo préstamo.

**Tabla 68. Servicio de deuda préstamo 2**

Año	Deuda	Interés	Amortización	Cuota
1	S/. 525 472,16	S/. 10 509,44	S/. 39 178,99	S/. 49 688,44
2	S/. 486 293,16	S/. 9 725,86	S/. 39 962,57	S/. 49 688,44
3	S/. 446 330,59	S/. 8 926,61	S/. 40 761,82	S/. 49 688,44
4	S/. 405 568,77	S/. 8 111,38	S/. 41 577,06	S/. 49 688,44
5	S/. 363 991,71	S/. 7 279,83	S/. 42 408,60	S/. 49 688,44
6	S/. 321 583,11	S/. 6 431,66	S/. 43 256,77	S/. 49 688,44
7	S/. 278 326,33	S/. 5 566,53	S/. 44 121,91	S/. 49 688,44
8	S/. 234 204,43	S/. 4 684,09	S/. 45 004,35	S/. 49 688,44
9	S/. 189 200,08	S/. 3 784,00	S/. 45 904,43	S/. 49 688,44
10	S/. 143 295,65	S/. 2 865,91	S/. 46 822,52	S/. 49 688,44
11	S/. 96 473,12	S/. 1 929,46	S/. 47 758,97	S/. 49 688,44
12	S/. 48 714,15	S/. 974,28	S/. 48 714,15	S/. 49 688,44

#### 3.4.4. Presupuesto de ingresos

Para a evaluación económica financiera del presente proyecto se realizó en 35 años, así mismo, los ingresos de tres rubros, ingresos por ventas de energía eléctrica, la venta de bonos de carbono y el servicio de recolección y disposición final de residuos sólidos municipales.

Para la venta de energía eléctrica, actualmente lo regula el SEIN a través del COES, a partir de subastas, en estas las empresas de generación eléctrica subastan la potencia de generación de energía en kWh/año, esta no puede superar la cantidad máxima que proponga el SEIN, por lo que adjudican las de menor generación de electricidad. Hasta el año 2015 de acuerdo a Mitma [8] en una primera subasta para energías renovables a partir de biogás el precio promedio ponderado en 37,75 ctm S/./kWh.

En el caso de los bonos de carbono estos son vendidos tanto en un mercado voluntario como en un mercado regulado, de acuerdo a Díaz – Cruz [42] es más rentable ingresar a un mercado regulado en el cual las ventas de los bonos de carbono tienen un mayor valor, llegando a tener un precio de hasta S/0,06 por kg de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, para brindar el servicio de recolección de residuos este se tomó en cuenta respecto a los precios propuesto en la *Guía para la Elaboración de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil* [40], con un precio de S/. 106 por tonelada de residuos sólidos municipales.

**Tabla 69. Producción anual de ingresos**

<b>Año</b>	<b>Energía eléctrica (kWh)</b>	<b>Servicio de recolección y disposición de RSM (t)</b>	<b>Bonos de Carbono (kg CO2)</b>
<b>1</b>	0	2 174	0
<b>2</b>	8 002	2 256	10 842
<b>3</b>	22 587	2 342	21 566
<b>4</b>	37 042	2 431	32 195
<b>5</b>	51 394	2 523	42 748
<b>6</b>	79 158	2 619	53 246
<b>7</b>	79 903	2 718	63 710
<b>8</b>	94 113	2 821	74 159
<b>9</b>	108 330	2 928	84 613
<b>10</b>	122 580	3 040	95 091
<b>11</b>	136 889	3 155	105 611
<b>12</b>	151 281	3 275	116 194
<b>13</b>	165 784	3 399	126 858
<b>14</b>	180 422	3 528	137 621
<b>15</b>	195 221	3 662	148 503
<b>16</b>	210 206	3 801	159 521
<b>17</b>	225 402	3 945	170 695
<b>18</b>	240 835	4 094	182 043
<b>19</b>	256 531	4 250	193 584
<b>20</b>	272 515	4 411	205 337
<b>21</b>	288 813	4 578	217 320
<b>22</b>	305 451	4 752	229 554
<b>23</b>	322 456	4 932	242 058
<b>24</b>	339 854	5 120	254 851
<b>25</b>	357 673	5 314	267 953
<b>26</b>	375 941	5 515	281 385
<b>27</b>	394 685	5 725	295 168
<b>28</b>	413 934	5 942	309 321
<b>29</b>	433 718	6 167	323 868
<b>30</b>	454 066	6 401	338 830
<b>31</b>	475 008	6 644	354 229
<b>32</b>	496 576	6 896	370 088
<b>33</b>	518 803	7 158	386 431
<b>34</b>	541 720	7 430	403 281
<b>35</b>	565 361	7 711	420 664

**Tabla 70. Ingresos por producción por rubro (S/.)**

<b>Año</b>	<b>Energía eléctrica</b>	<b>Servicio de recolección y disposición de RSM</b>	<b>Bonos de Carbono</b>	<b>TOTAL</b>
<b>1</b>	0	230 443	0	230 443
<b>2</b>	3 041	239 186	660	242 887
<b>3</b>	8 583	248 262	1 312	258 157
<b>4</b>	14 076	257 681	1 959	273 715
<b>5</b>	19 530	267 458	2 601	289 588
<b>6</b>	30 080	277 606	3 239	310 925
<b>7</b>	30 363	288 138	3 876	322 377
<b>8</b>	35 763	299 071	4 512	339 345
<b>9</b>	41 166	310 418	5 147	356 731
<b>10</b>	46 580	322 196	5 785	374 561
<b>11</b>	52 018	334 420	6 425	392 863
<b>12</b>	57 487	347 109	7 069	411 664
<b>13</b>	62 998	360 278	7 718	430 994
<b>14</b>	68 560	373 948	8 372	450 881
<b>15</b>	74 184	388 136	9 034	471 354
<b>16</b>	79 878	402 862	9 705	492 445
<b>17</b>	85 653	418 148	10 384	514 185
<b>18</b>	91 517	434 013	11 075	536 605
<b>19</b>	97 482	450 480	11 777	559 739
<b>20</b>	103 556	467 572	12 492	583 619
<b>21</b>	109 749	485 312	13 221	608 282
<b>22</b>	116 071	503 726	13 965	633 762
<b>23</b>	122 533	522 838	14 726	660 097
<b>24</b>	129 145	542 675	15 504	687 324
<b>25</b>	135 916	563 265	16 301	715 482
<b>26</b>	142 858	584 636	17 118	744 612
<b>27</b>	149 980	606 818	17 957	774 755
<b>28</b>	157 295	629 841	18 818	805 954
<b>29</b>	164 813	653 739	19 703	838 254
<b>30</b>	172 545	678 542	20 613	871 700
<b>31</b>	180 503	704 287	21 550	906 340
<b>32</b>	188 699	731 009	22 515	942 223
<b>33</b>	197 145	758 745	23 509	979 398
<b>34</b>	205 853	787 532	24 534	1 017 920
<b>35</b>	214 837	817 413	25 592	1 057 841

### 3.4.5. Presupuesto de egresos

#### 3.4.5.1. Costos de producción

Para el proyecto se considera únicamente como insumo o material el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  u óxido férrico utilizado en el proceso de purificación del gas el cual tiene un índice de consumo de 0,5 kg por cada metro cúbico de  $\text{H}_2\text{S}$ . Así mismo se consideró la mano de obra directa e indirecta, en este caso los operarios que están a cargo de inspeccionar las máquinas y los operarios que realizan las actividades relacionadas a recolección y disposición de residuos sólidos municipales.

**Tabla 71. Costo de materiales**

Año	Costo
2	S/. 1 110,20
3	S/. 2 208,38
4	S/. 3 296,72
5	S/. 4 377,36
6	S/. 5 452,40
7	S/. 6 523,89
8	S/. 7 593,87
9	S/. 8 664,34
10	S/. 9 737,27
11	S/. 10 814,61
12	S/. 11 898,30
13	S/. 12 990,27
14	S/. 14 092,43
15	S/. 15 206,70
16	S/. 16 334,97
17	S/. 17 479,16
18	S/. 18 641,19
19	S/. 19 822,99
20	S/. 21 026,47
21	S/. 22 253,61
22	S/. 23 506,36
23	S/. 24 786,73
24	S/. 26 096,73
25	S/. 27 438,41
26	S/. 28 813,85
27	S/. 30 225,16
28	S/. 31 674,52
29	S/. 33 164,10
30	S/. 34 696,17
31	S/. 36 273,01
32	S/. 37 896,98
33	S/. 39 570,49
34	S/. 41 296,00

**Tabla 72. Costo de mano de obra**

Colaboradores	Cantidad	Salario	Beneficios 51%	Sub total mensual/op	Total anual/op
Operarios de planta	3	S/. 616,00	S/. 314,16	S/. 930,16	S/. 33 485,76
Operarios de manipulación de maquinas	1	S/. 616,00	S/. 314,16	S/. 930,16	S/. 11 161,92
<b>TOTAL</b>	4				S/. 44 647,68

**3.4.5.2. Gastos administrativos**

Los gastos administrativos, son reconocidos sobre las actividades de globales de una empresa, en este caso se han considerado sueldos administrativos, materiales y útiles de oficina, en cuanto al consumo de energía este solo sería para el primer año de funcionamiento hasta lograr en el segundo año el autoabastecimiento, teléfono e internet, por alquiler se refiere al uso del área de máquinas donde están el sistema de generación eléctrica, esta área será alquilada y finalmente agua.

**Tabla 73. Gastos administrativos**

ITEMS	Mensual
Sueldos administrativos	S/. 11 547,99
Materiales y útiles de oficina	S/. 300,00
Consumo de energía eléctrico	S/. 280,96
Teléfono e Internet	S/. 60,00
Agua	S/. 30,00
<b>GASTO TOTAL</b>	S/. 12 218,95

**3.4.5.3. Gastos financieros**

Los gastos financieros son aquellos pagos que se realizarán por haber adquirido el segundo préstamo.

**Tabla 74. Gastos financieros**

Año	Amortización
1	S/. 39 178,99
2	S/. 39 962,57
3	S/. 40 761,82
4	S/. 41 577,06
5	S/. 42 408,60
6	S/. 43 256,77
7	S/. 44 121,91
8	S/. 45 004,35
9	S/. 45 904,43
10	S/. 46 822,52
11	S/. 47 758,97
12	S/. 48 714,15

### 3.4.6. Costos Totales

La siguiente tabla muestra los costos en los que se incurriría de implementar un relleno sanitario con captura de biogás en el Distrito La Coipa.

**Tabla 75. Costos totales**

ITEMS	1 Año	2 Año	3 Año	4 año	5 Año	6 Año	7 Año	8 Año	9 Año	10 Año	11 Año	12 Año	13 Año	14 Año	15 Año
<b><i>Costos directos de producción</i></b>															
Materiales directos	S/. 0	S/. 1 110	S/. 2 208	S/. 3 297	S/. 4 377	S/. 5 452	S/. 6 524	S/. 7 594	S/. 8 664	S/. 9 737	S/. 10 815	S/. 11 898	S/. 12 990	S/. 14 092	S/. 15 207
Materiales indirectos	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0
Mano de obra directa	S/. 0	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162	S/. 11 162
<b>Total de costos directos de producción</b>	S/. 0	S/. 12 272	S/. 13 370	S/. 14 459	S/. 15 539	S/. 16 614	S/. 17 686	S/. 18 756	S/. 19 826	S/. 20 899	S/. 21 977	S/. 23 060	S/. 24 152	S/. 25 254	S/. 26 369
<b><i>Costos indirectos de fabricación</i></b>															
Mano de obra indirecta	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486	S/. 33 486
Suministros	S/. 6 371	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800	S/. 1 800
Distribución	S/. 0	S/. 633	S/. 1 258	S/. 1 878	S/. 2 494	S/. 3 107	S/. 3 717	S/. 4 327	S/. 4 937	S/. 5 548	S/. 6 162	S/. 6 779	S/. 7 402	S/. 8 030	S/. 8 664
<b>Total de costos indirectos de producción</b>	S/. 39 857	S/. 35 918	S/. 36 544	S/. 37 164	S/. 37 780	S/. 38 392	S/. 39 003	S/. 39 613	S/. 40 223	S/. 40 834	S/. 41 448	S/. 42 065	S/. 42 687	S/. 43 315	S/. 43 950
<b>TOTAL DE COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	S/. 39 857	S/. 48 190	S/. 49 914	S/. 51 623	S/. 53 319	S/. 55 007	S/. 56 689	S/. 58 368	S/. 60 049	S/. 61 733	S/. 63 424	S/. 65 125	S/. 66 840	S/. 68 570	S/. 70 319

### 3.4.7. Estado de ganancias y pérdidas

La siguiente tabla demuestra las ganancias y pérdidas para los próximos 10 años. En esta tabla podemos ver que se han incluido costos de mantenimiento, para hallar este costo se tuvo en cuenta la investigación de Cadena, Mora y Pérez [14].

**Tabla 76. Estado de ganancias y pérdidas**

ITEM	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año	8 Año	9 Año	10 Año	11 Año	12 Año	13 Año	14 Año	15 Año
<b>INGRESOS</b>	S/. 230 443	S/. 242 887	S/. 258 157	S/. 273 715	S/. 289 588	S/. 310 925	S/. 322 377	S/. 339 345	S/. 356 731	S/. 374 561	S/. 392 863	S/. 411 664	S/. 430 994	S/. 450 881	S/. 471 354
<b>EGRESOS</b>															
Costos de Mantenimiento	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700
Costos de Producción	S/. 39 857	S/. 48 190	S/. 49 914	S/. 51 623	S/. 53 319	S/. 55 007	S/. 56 689	S/. 58 368	S/. 60 049	S/. 61 733	S/. 63 424	S/. 65 125	S/. 66 840	S/. 68 570	S/. 70 319
<b>UTILIDAD BRUTA</b>	S/. 174 886	S/. 178 996	S/. 192 542	S/. 206 393	S/. 220 569	S/. 240 218	S/. 249 988	S/. 265 277	S/. 280 982	S/. 297 128	S/. 313 739	S/. 330 839	S/. 348 454	S/. 366 611	S/. 385 336
Gastos Administrativos	S/. 146 627	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256	S/. 143 256
Depreciación	S/. 9 500	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310	S/. 21 310
<b>UTILIDAD OPERATIVA</b>	S/. 18 759	S/. 14 430	S/. 27 976	S/. 41 827	S/. 56 003	S/. 75 652	S/. 85 422	S/. 100 711	S/. 116 416	S/. 132 562	S/. 149 173	S/. 166 273	S/. 183 888	S/. 202 045	S/. 220 770
Gastos de financiamiento (Intereses)	S/. 10 509	S/. 9 726	S/. 8 927	S/. 8 111	S/. 7 280	S/. 6 432	S/. 5 567	S/. 4 684	S/. 3 784	S/. 2 866	S/. 1 929	S/. 974	S/. 0	S/. 0	S/. 0
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS</b>	S/. 8 249	S/. 4 705	S/. 19 050	S/. 33 715	S/. 48 723	S/. 69 220	S/. 79 856	S/. 96 027	S/. 112 632	S/. 129 696	S/. 147 243	S/. 165 299	S/. 183 888	S/. 202 045	S/. 220 770
Impuesto a la renta (30%)	S/. 2 475	S/. 1 411	S/. 5 715	S/. 10 115	S/. 14 617	S/. 20 766	S/. 23 957	S/. 28 808	S/. 33 790	S/. 38 909	S/. 44 173	S/. 49 590	S/. 55 167	S/. 60 614	S/. 66 231
<b>UTILIDADES NETAS</b>	S/. 5 774	S/. 3 293	S/. 13 335	S/. 23 601	S/. 34 106	S/. 48 454	S/. 55 899	S/. 67 219	S/. 78 843	S/. 90 787	S/. 103 070	S/. 115 709	S/. 128 722	S/. 141 432	S/. 154 539

### 3.4.8. Flujo de caja

**Tabla 77. Flujo de caja**

Concepto/Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Total Ingresos	S/.0	S/.230 443	S/.242 887	S/.258 157	S/.273 715	S/.289 588	S/.310 925	S/.322 377	S/.339 345	S/.356 731	S/.374 561	S/.392 863	S/.411 664	S/.430 994	S/.450 881	S/.471 354
Total de Inversión	-S/.2 702 408															
Total Egresos	S/.2 702 408	S/.202 185	S/.207 146	S/.208 870	S/.210 579	S/.212 275	S/.213 963	S/.215 645	S/.217 324	S/.219 005	S/.220 689	S/.222 380	S/.224 081	S/.225 795	S/.227 526	S/.229 275
Costo de mantenimiento		S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700	S/.15 700
Costo de Producción		S/.39 857	S/.48 190	S/.49 914	S/.51 623	S/.53 319	S/.55 007	S/.56 689	S/.58 368	S/.60 049	S/.61 733	S/.63 424	S/.65 125	S/.66 840	S/.68 570	S/.70 319
Gastos Administrativos		S/.146 627	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256	S/.143 256
Utilidad Operativa	-S/.2 702 408	S/.28 259	S/.35 740	S/.49 286	S/.63 137	S/.77 313	S/.96 962	S/.106 732	S/.122 021	S/.137 726	S/.153 872	S/.170 483	S/.187 583	S/.205 198	S/.223 355	S/.242 080
Depreciación		S/.9 500	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310
Utilidad antes de Impuestos (Impuesto a la renta 30)	-S/.2 702 408	S/.37 759	S/.57 050	S/.70 596	S/.84 447	S/.98 623	S/.118 272	S/.128 042	S/.143 331	S/.159 036	S/.175 182	S/.191 793	S/.208 893	S/.226 508	S/.244 665	S/.263 390
Depreciación		S/.9 500	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310	S/.21 310
FCE	-S/.2 702 408	S/.16 931	S/.18 625	S/.28 108	S/.37 803	S/.47 726	S/.61 480	S/.68 320	S/.79 022	S/.90 015	S/.101 317	S/.112 945	S/.124 915	S/.137 246	S/.149 956	S/.163 063
Préstamo	S/.525 472															
Flujo neto Pago		S/.39 179	S/.39 963	S/.40 762	S/.41 577	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/.42 409	S/0	S/0
FCF	-S/.525 472	-S/.22 248	-S/.21 337	-S/.12 654	-S/.3 774	S/.5 318	S/.19 072	S/.25 911	S/.36 613	S/.47 607	S/.58 909	S/.70 536	S/.82 507	S/.137 246	S/.149 956	S/.163 063
Caja Acumulada	-S/.525 472	-S/.547 720	-S/.569 057	-S/.581 712	-S/.585 486	-S/.580 169	-S/.561 097	-S/.535 186	-S/.498 572	-S/.450 966	-S/.392 057	-S/.321 520	-S/.239 014	-S/.101 768	S/.48 188	S/.211 250

Así mismo, la municipalidad incurrirá en ahorros por posibles multas, además la empresa privada será la que realice las operaciones y mantenimiento del relleno sanitario según lo acordado bajo la modalidad de concesión del servicio público.

**Tabla 78. Ahorros municipales por implementación de un relleno sanitario**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ahorro en gestión de relleno		S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054	S/. 87 054
Ahorro en mantenimiento	0	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700	S/. 15 700
Ahorro en multas		S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000	S/. 225 000
Inversión	-S/. 2 702 408,30	-S/. 2 374 655	-S/. 2 046 901	-S/. 1 719 147	-S/. 1 391 394	-S/. 1 063 640	-S/. 735 887	-S/. 408 133	-S/. 80 379	S/. 247 374	S/. 575 128	S/. 902 881	S/. 1 230 635	S/. 1 558 389	S/. 1 886 142

### 3.4.9. Evaluación económica financiera

La evaluación económica financiera es la parte decisiva que permite aprobar o desaprobar la tentativa de una inversión, en este caso, la evaluación económica financiera nos da valores de valor actual neto (VAN) y de tasa de retorno interno (TIR) como se muestra en la siguiente tabla. Para ello primero se debe hallar la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), por tratarse de un proyecto social se pueden aplicar la tasa social de descuento como se explica en *Las Alianzas Público – Privadas (APP) en el Perú* [43] por Benavente, Escaffi, Segura y Távara, donde mencionan la social de descuento a la concesión del Aeropuerto de Chinchero del Cuzco, en este caso correspondió una tasa de 9%, sin embargo, continuando con la búsqueda, el estudio realizado por el Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico en *Cálculo de la Tasa Social de Descuento para proyectos de inversión pública ambientales* [44] donde se menciona que por tratarse de proyectos ambientales donde los beneficios pueden extenderse a más de 50 años, por lo que existe una preferencia por el tiempo, a un proyecto de hasta 30 años es aplicable una tasa social de descuento de 4,9%.

**Tabla 79. Indicadores de evaluación económica financiera**

Indicador	Valor
VAN	S/. 781 255,42
TIR	12,149%
TMAR	7,54%

Como se puede observar se trata de una inversión rentable a largo plazo, pues se tomaron en cuenta los datos de 35 años de operación, tanto el VAN como el TIR reflejan que se trata de un proyecto social viable, siendo el TIR mayor que el TMAR y un VAN positivo.

**Tabla 80. Indicador beneficio/costo**

Item	Valor
B/C	S/.1,10
Ingresos acumulados	S/. 7 843 078,20
Egresos acumulados	S/. 4 430 222,39
Inversión	S/. 2 702 408,30

El indicador beneficio/costo permite dar una referencia de lo que se ganaría por cada unidad monetaria que se invierte. Este reveló que existe una ganancia de 0,10 por cada sol de inversión.

### 3.4.10. Evaluación ambiental

#### 3.4.10.1. Identificación de impactos y mitigación

##### ➤ Suelo

La evaluación inicial demuestra el impacto ambiental al suelo debido a la actual disposición de residuos sólidos, ya que estos son únicamente desechados en grandes cantidades, sin ningún tipo de cuidado, ocasionando la erosión de suelos, dejando la zona inhabitable. La implementación de un relleno sanitario reduce este impacto debido a que el terreno es preparado previamente para la disposición de residuos, en lo posible estos incluso son segregados. Las operaciones de disposición de residuos permiten que estos ocupen el menor espacio posible, además el cierre de este relleno se adecua para ser una zona de árboles con un menor impacto.

➤ **Agua**

En el caso del actual botadero del Distrito La Coipa no se ha demostrado impacto alguno al agua, no existen aguas superficiales alrededor y por otro lado no hay viviendas cercanas a la zona. La implementación de un relleno sanitario debe realizarse con sumo cuidado ya que es necesario realizar estudios que prevengas cualquier impacto a agua subterráneas pues esto puede afectar a la salud de las personas.

➤ **Aire**

La ubicación del actual botadero del Distrito La Coipa se encuentra en la carretera, exactamente en un desvío a un centro poblado, por lo que al paso emite un olor desagradable. Así mismo sin los cuidados necesarios la actual disposición de residuos impacta gravemente ya que emite gases de efecto invernadero, entre estos el de mayor impacto es el metano ( $\text{CH}_4$ ) el responsable de la lluvia ácida. Un relleno sanitario busca disminuir este tipo de emisiones, también se encuentra el  $\text{CO}_2$ , en un relleno únicamente controlado se busca quemar las emisiones para evitar fuertes impactos al medio ambiente.

#### IV. Conclusiones

1. La Municipalidad Distrital La Coipa muestra que cuenta con un sistema precario de gestión de sus residuos sólidos, de someterse a una fiscalización está sujeta a multas por el incumplimiento de las leyes y normas por el actual manejo de los residuos sólidos municipales, además, actualmente no cobra ningún impuesto por este servicio, mostrando poco interés por mejorarlo. Así mismo, la caracterización de sus residuos indica un alto poder energético, pues están constituidos en un 64% por materia orgánica.
2. Actualmente las fuentes de generación de energía eléctrica en nuestro país provienen en su mayoría de energía hidráulica, existe escasez en la explotación de energías renovables no convencionales, de hecho, el Perú desde el 2014 se ha propuesto metas para incrementar la producción en el mercado de energías renovables. Si bien La Coipa ya cuenta con electrificación, existen otros proyectos que han tenido la iniciativa de explicar los residuos sólidos para fines energéticos. Así mismo, la memoria anual del distribuidor de la zona demuestra que existe una demanda energética en la zona.
3. Un relleno sanitario permite disponer de los residuos sólidos de forma que no generan impactos ambientales, y un sistema de captación del biogás para generación de energía eléctrica permite mitigar los gases de efecto invernadero. El diseño de un relleno sanitario permite recibir residuos sólidos hasta por un lapso de 34 años por la capacidad con la que se cuenta, como se ha podido ver en la lámina general la mayor parte de este diseño se encuentra ocupado por las trincheras que reciben los residuos.
4. La presente investigación se trata finalmente de un proyecto social entre un público y privado, evaluado bajo el mecanismo de concesión, la inversión resulta rentable a largo plazo, pues se evaluó en 35 años de operación. Se trataría de un proyecto entregado para gestión y explotación de recursos por parte privada, mientras que la municipalidad ahorra las multas a las que se encuentra sujeta por incumplimiento de leyes.

## V. Recomendaciones

- El diseño y construcción de un relleno sanitario requiere de estudios exhaustivos de la zona donde será implementado, pues diversos factores geográficos, topográficos y climatológicos son datos importantes de tomar en cuenta, como por ejemplo la napa freática, esta permite determinar a qué profundidad se pueden realizar las trincheras sin impactar negativamente las aguas subterráneas, ante una posible implementación es importante tomar en cuenta este dato.
  
- Los antecedentes mencionados en la investigación planteaban proyectos donde existía mayores cantidades de residuos sólidos por lo que la generación de energía eléctrica era mayor. Para próximas investigaciones en la zona relacionadas al tema se recomienda tomar en cuenta los residuos de los agricultores, quienes en su mayoría cultivan café, el valor de generación de metano podría incrementarse por tratarse de mayor materia orgánica.

## VI. Referencias

- [1] SINIA, «Sistema Nacional de Información Ambiental,» Enero 2017. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/tematicas?tematica=08>. [Último acceso: 25 Marzo 2020].
- [2] Ministerio del Ambiente, «Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos,» Lima, 2016.
- [3] República del Congreso , *Reglamento del Decreto Legislativo N°1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Lima: El Peruano, 2017.
- [4] Instituto Nacional de Estadística e Informática, «Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda, III de Comunidades Indígenas,» 2018. [En línea]. Available: <http://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>. [Último acceso: 18 Mayo 2019].
- [5] Municipalidad Distrital La Coipa , *Plan Anual de Recojo de Inservibles*, La Coipa, 2018.
- [6] Municipalidad Distrital La Coipa, *Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Municipales del Área Urbana del Distrito La Coipa*, La Coipa, 2017.
- [7] Programa Nacional de las Naciones Unidas , «Informe Anual 2015,» PNUMA, Estados Unidos, 2015.
- [8] R. E. Ramírez, «Análisis de la Regulación de Energías Renovables en el Perú,» *Revista Derecho & Sociedad*, n° 45, pp. 167-176, 2015.
- [9] I. P. Hernández y D. Rodríguez, «Estudio de prefactibilidad de un relleno sanitario en Tepic - Nayarit,» *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, vol. 5, n° 9, 2016.
- [10] G. B. Madrigal, J. J. Quispe y Y. M. Vargas, «Cálculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica.,» *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, vol. 4, n° 2, pp. 42 - 55, 2018.
- [11] J. Oluwadare, «Design of Engineered Sanitary Landfill for Efficient Solid Waste Managment in Ado - Ekiti, South - Western Nigeria,» *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, vol. 3, n° 9, pp. 2458 - 925 X, 2017.

- [12] Ministerio del Ambiente, *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*, Lima, 2018.
- [13] M. Varnero, M. Carú, K. Galleguillos y P. Achondo, «Tecnologías disponibles para la purificación de biogás usado en la generación eléctrica,» *Información Tecnológica*, vol. 23, n° 2, pp. 31 - 40, 2012.
- [14] J. Cadena, J. Mora y S. Pérez, «Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir del biogás de vertedero,» *Scientia et Technica*, n° 51, pp. 122 - 170, 2012.
- [15] S. Menikpura, J. Sang-Arun y M. Bengtsson, «Climate co-benefits of energy recovery from landfill gas in developing Asian cities: a case study in Bangkok,» *Waste Managment & Research*, vol. 31, n° 10, pp. 1003-1010, 2015.
- [16] Ministerio del Ambiente, *Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana*, Lima: Ministerio del Ambiente , 2012.
- [17] J. A. Munizaga, Prefactibilidad técnica de un vertedero controlado de alta densidad para la ciudad de Antofagasta, Chile, Antofagasta: Universidad Internacional de Andalucía, 2009.
- [18] R. Vázquez, *Procesamiento de la basura urbana*, Ciudad de México: Editorial Trillas, 1994.
- [19] E. Xavier, *Reciclaje de Residuos Industriales*, España: Ediciones Díaz de Santos, 2009.
- [20] H. Collazos, *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*, Bogotá, 2011.
- [21] M. Miranda, R. M. Claramunt y P. Cornago, *Reciclado y tratamiento de residuos*, Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2008.
- [22] Consejo Nacional del Ambiente , *Guía Técnica para la Clausura y Conversión de Botaderos de Residuos Sólidos*, Lima , 2004.
- [23] Ministerio del Ambiente , *Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de un Relleno Sanitario Manual*, Lima: Ministerio del Ambiente, 2015.
- [24] A. Andrade, A. Restrepo y J. Tibaquirá, «Estimación de biogás de relleno sanitario, caso de estudio: Colombia,» *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, n° 23, pp. 40 - 48, 2018.

- [25] A. B. Rebolledo, *Gestión integral de residuos sólidos para países en desarrollo*, Ciudad de Mexico: Editorial Académica Española, 2012.
- [26] J. L. Arvizu y J. M. Huacuz, «Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad,» *Boletín III*, pp. 1 - 6, 2003.
- [27] Banco Interamericano de Desarrollo , *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico práctico*, Banco Interamericano de Desarrollo , 2017.
- [28] Cedar Lake Ventures, «Weather Spark,» 2016. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/20003/Clima-promedio-en-La-Coipa-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 11 Octubre 2018].
- [29] L. Márquez, *Residuos Sólidos: un enfoque multidisciplinario Volumen I*, España: Amertown International S.A., 2011.
- [30] C. A. Bernal, *Metodología de la investigación*, Bogotá: PEARSON EDUCACIÓN, 2010.
- [31] Ministerio de Salud , *Guía para la opinión técnica favorable de estudio de selección de área para infraestructura de tratamiento, transferencia y disposición final de residuos sólidos*, Lima , 2004.
- [32] Ministerio de Vivienda , *Reglamento Nacional de Edificaciones*, Lima: El Peruano, 2006.
- [33] L. Carrión y N. Cuenca, «Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de pichacay,» *Empresa Municipal de Aseo de Cuenca*, pp. 5-42, 2009.
- [34] B. Díaz, B. Jarufe y M. T. Noriega, *Disposición de planta*, Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima, 2007.
- [35] Osinergmin, «La industria de la Energía Renovable en el Perú,» Osinergmin, Lima, 2017.
- [36] Congreso de la República, *Decreto Supremo N°012-2011-EM Reglamento de la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el uso de Energías Renovables*, Lima, 2011.
- [37] Electro Oriente, «Memoria Anual 2018,» Lima , 2018.

- [38] Presidencia del Consejo de Ministros , «Municipio al día,» Que hacer Municipal, 16 noviembre 2016. [En línea]. Available: [https://municipioaldia.com/consultas-frecuentes/consulta\\_frecuente\\_90091317/](https://municipioaldia.com/consultas-frecuentes/consulta_frecuente_90091317/). [Último acceso: 13 julio 2020].
- [39] J. L. Bonifaz, «Tres casos de financiamiento de las Asociaciones Público - Privadas en Perú: Lecciones y perspectivas,» *XXI Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública*, pp. 8 - 11, 2016.
- [40] Ministerio del Ambiente y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID/Perú, *Guía para la Elaboración de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil*, Lima: Biblioteca Nacional del Perú, 2013.
- [41] Ministerio de Economía y Finanzas , «Ministerio de Economía y Finanzas,» 04 Febrero 2016. [En línea]. Available: [https://www.mef.gob.pe/en/notas-de-prensa-y-comunicados/4285-el-gobierno-del-peru-y-la-cooperacion-financiera-alemana-kfw-suscribieron-dos-contratos-de-prestamos?fbclid=IwAR0Ja\\_1LHA\\_h3HC-2fiozdsJ3ndSpsW5JO3GJMnQc0IU0Dv59Vm9kpqt7uk](https://www.mef.gob.pe/en/notas-de-prensa-y-comunicados/4285-el-gobierno-del-peru-y-la-cooperacion-financiera-alemana-kfw-suscribieron-dos-contratos-de-prestamos?fbclid=IwAR0Ja_1LHA_h3HC-2fiozdsJ3ndSpsW5JO3GJMnQc0IU0Dv59Vm9kpqt7uk). [Último acceso: 08 Mayo 2020].
- [42] M. C. D. -. Cruz, «Bonos de carbono: un instrumento del sistema financiero internacional,» *Libre Empresa*, vol. 13, nº 1, pp. 11 - 33, 2016.
- [43] P. Benavente, J. Escaffi, A. Segura y J. Távara, *Las Alianzas Público - Privadas (APP) en el Perú: Beneficios y Riesgos*, Lima: Plataforma para la Reflexión Pública , 2017.
- [44] Centro de Investigación de la Universidad del Pacífico , *Cálculo de la Tasa Social de Descuento para Proyectos de Inversión Pública Ambientales*, Lima, 2011.

## VII. Anexos


## Anexo 1. Categorización de un botadero por su prioridad de clausura

1. Cantidad de residuos y área que ocupa								
Característica	Botadero pequeño 2		Botadero mediano 5		Botadero grande 8		Botadero muy grande 10	
Superficie que abarca	Hasta 0,99 ha	0,50	1 a 4,9 ha	1,0	5 a 9,9 ha	2,0	10 a 30 has a más	3,0
Cantidad diaria de residuos que se arrojan	Hasta 20 t/día	1,00	20 a 50 t/día	2,0	50 a 100 t/día	3,0	más de 100 t/día	3,0
Cantidad aproximada de residuos acumulados	Hasta 15 000 t	1,00	Hasta 55 000 t	2,0	Hasta 600 000 t	3,0	más de 600 000 t	4,0
2. Presencia de residuos peligrosos								
Característica	Ninguno 0		Poco 5		Moderado 10		Abundante 15	
Arrojo de residuos hospitalarios	Nulo	0,00	Recolectados conjuntamente con residuos domésticos de pequeños establecimientos de salud	2,5	Recolectados conjuntamente con residuos domésticos de pequeños y medianos establecimientos de salud	5,0	Recolectados, transportados y arrojados en el botadero por unidades destinadas exclusivamente a este servicio	7,5
Arrojo de residuos industriales	Nulo	0,00	Cantidad mínima	2,5	Cantidad moderada	5,0	Cantidad considerable	7,5
3. Tiempo de actividad del botadero								
Característica	Botadero reciente 2		Botadero mediano reciente 5		Botadero antiguo 8		Botadero muy antiguo	
Tiempo de actividad del botadero	Hasta 1,9 años		De 2 a 4,9 años		De 5 a 9,9 años		Más de 10 años	
4. Cercanía a poblados o viviendas								
Característica	Favorable 1		Medianamente favorable 7		Poco favorable 14		Desfavorable 20	
Cercanía a viviendas	Apartado a más de 500 m de las viviendas más cercanas		Apartado hasta 500 m de las viviendas más cercanas		Colindante a viviendas periféricas		Dentro de la población	

5. Por las características geofísicas de la zona								
Característica	Favorable 0		Medianamente favorable 2		Poco favorable 4		Desfavorable 5	
Precipitación pluvial total anual	Muy seco (menor a 100 mm)	0,00	Seco (100 a 500 mm)	1,0	Moderado (500 a 1500 mm)	2,00	Húmedo (más de 1500 mm)	2,0
Temperatura promedio anual	Frío (0° C a 11° C)	0,00	Moderado (12° C a 18° C)	1,0	Cálido (19° C a 24° C)	2,00	Muy cálido (25° C a 40° C)	1,0
Condiciones geológicas e hidro geomorfológicas	Estable y no existe curso de agua subterránea en el sitio o está a una profundidad mayor a 10 metros.	0,00					No estable y existe curso de agua subterránea en el sitio a una profundidad en el sitio menor de 10 m de la superficie	2,0
6. Aspectos socioeconómicos y riesgos a la salud								
Característica	Bajo riesgo 0		Moderado riesgo 13		Alto riesgo 27		Muy alto riesgo 40	
Actividad de segregación	No existe	0,00	Mínima	3,0	Moderada	9,0	Intensa	10
Crianza de aves y ganado porcino	No existe	0,00	Mínima	4,0	Moderada	9,0	Intensa	10
Presencia de vectores	Mínima	0,00	Poca	4,0	Abundante	9,0	Muy abundante	10
Quema de basura	No existe	0,00	Quema esporádica	3,0			Quema indiscriminada	10

Fuente: Consejo Nacional del Ambiente, 2004

## Anexo 2. Hoja de Campo 1

Hoja de Campo 1			
Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales del Botadero Municipal del Distrito La Coipa			
<b>REGIÓN:</b> Cajamarca <b>PROVINCIA:</b> San Ignacio <b>DISTRITO:</b> La Coipa		<b>LUGAR DE OCURRENCIA:</b> Botadero Municipal La Coipa	
		<b>IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO</b>	
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico
		<input type="checkbox"/>	Biológico
		<input type="checkbox"/>	Socioeconómico y Cultural
		<b>FASE DEL PROYECTO</b>	
		<input type="checkbox"/>	Construcción
		<input checked="" type="checkbox"/>	Operación
<b>TIPO DE IMPACTO</b>		Positivo	Negativo
<input type="checkbox"/>	Alto		
	Moderado		<input checked="" type="checkbox"/>
	Ligero		
<b>PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Vistas panorámicas y paisajísticas, atracción de aves carroñeras y roedores, geración de malos olores.			
<b>CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:</b> La atracción de aves carroñeras debido a la aglomeración de residuos sólidos en el botadero, dispuestos sin ningún tipo de cuidado. Así mismo, la excesiva cantidad de basura dispuesta genera malos olores que son notados por quienes pasan por la carretera, donde se encuentra ubicado.			



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Hoja de Campo 2

Hoja de Campo 2			
Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales del Botadero Municipal del Distrito La Coipa			
<b>REGIÓN:</b> Cajamarca <b>PROVINCIA:</b> San Ignacio <b>DISTRITO:</b> La Coipa		<b>LUGAR DE OCURRENCIA:</b> Botadero Municipal La Coipa	
		<b>IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO</b>	
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico
<input checked="" type="checkbox"/>	Biológico		
	Socioeconómico y Cultural		
<b>FASE DEL PROYECTO</b>			
	Construcción		
<input checked="" type="checkbox"/>	Operación		
<b>TIPO DE IMPACTO</b>		Positivo	Negativo
<input type="checkbox"/>	Alto		<input checked="" type="checkbox"/>
	Moderado		
	Ligero		
<b>PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Generación de gases de descomposición.			
<b>CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:</b> La generación de gases de descomposición, son liberados al medio ambiente diariamente, año tras año la acumulación de residuos va en aumento, ocasionando mayor generación de gases contaminantes.			



Fuente: Elaboración propia

### Anexo 4. Hoja de Campo 3

<b>Hoja de Campo 3</b>				
<b>Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales del Botadero Municipal del Distrito La Coipa</b>				
<b>REGIÓN:</b> Cajamarca	<b>LUGAR DE OCURRENCIA:</b> Botadero Municipal La Coipa			
<b>PROVINCIA:</b> San Ignacio				
<b>DISTRITO:</b> La Coipa				
	<b>IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO</b>			
	<b>X</b>	Físico		
		Biológico		
		Socioeconómico y Cultural		
	<b>FASE DEL PROYECTO</b>			
		Construcción		
	<b>X</b>	Operación		
	<b>TIPO DE IMPACTO</b>		Positivo	Negativo
		Alto		
		Moderado		<b>X</b>
Ligero				
<b>PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Generación de gases de combustión y material particulado.				
<b>CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Para reducir la cantidad de residuos dispuestos, cada cierto tiempo se ha visto conveniente quemar o enterrar los residuos. De la quema de residuos se desprenden gases de combustión altamente tóxicos para el medio ambiente, así como cenizas, etc.				

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5. Hoja de Campo 4

<b>Hoja de Campo 4</b>				
<b>Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales del Botadero Municipal del Distrito La Coipa</b>				
<b>REGIÓN:</b> Cajamarca <b>PROVINCIA:</b> San Ignacio <b>DISTRITO:</b> La Coipa		<b>LUGAR DE OCURRENCIA:</b> Botadero Municipal La Coipa		
	<b>IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO</b>			
		Físico		
		Biológico		
	<b>X</b>	Socioeconómico y Cultural		
	<b>FASE DEL PROYECTO</b>			
		Construcción		
	<b>X</b>	Operación		
	<b>TIPO DE IMPACTO</b>		<b>Positivo</b>	<b>Negativo</b>
		Alto		
		Moderado		<b>X</b>
Ligero				
<b>PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Salud y seguridad.				
<b>CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL:</b> Para realizar el recojo de residuos municipales, los operarios no usan los equipos de protección personal recomendados, realizando la actividad de manera riesgosa para su salud.				

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 6. Ficha de Registro sobre Demanda Energética en el Distrito La Coipa

### Ficha de Registro sobre Demanda Energética en el Distrito La Coipa

**Participantes:** Pobladores del Distrito La Coipa

**Objetivo:** Determinar la demanda energética de los pobladores del Distrito La Coipa

**Instrucciones:** Señores del Distrito La Coipa, con el propósito de diagnosticar la demanda energética del poblado se solicita su valiosa ayuda contestando las preguntas con veracidad. La información proporcionada será de manejo anónimo.

#### Identificación

Zona de ubicación: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**1. ¿La vivienda que ocupa es?**

- a) Casa independiente
- b) Vivienda con negocio
- c) Vivienda en quinta
- d) Otro: \_\_\_\_\_

**2. Número de miembros del hogar:**

\_\_\_\_\_

**3. ¿Cuántos ambientes tiene en total este hogar? (incluyendo sala, comedor y baño)**

\_\_\_\_\_

**4. ¿Cuenta con alumbrado público?**

- a) Sí
- b) No

**5. ¿Dentro de su hogar cuenta con acceso a servicio de electricidad?**

- a) Sí
- b) No

**6. Consumo promedio mensual por hogar (KWh – mes):**

\_\_\_\_\_

**7. Pago mensual (último mes):**

\_\_\_\_\_

**8. La energía eléctrica que consume es:**

- a) De empresa de Servicio Público (incluye panel solar otorgado)
- b) Autogenerada (Motor, batería, panel solar, eólica)

**9. ¿Cuáles son los usos de electricidad en su hogar?**

	Número de	Cantidad
a) Alumbrarse	Focos	
b) Cocinar sus alimentos	Cocinas	
c) Artefactos electrodomésticos	Artefactos electrodomésticos	
d) Calefacción		
e) Conservación de alimentos	Refrigeradoras	
f) Duchas eléctricas	Termas	
g) Otros: _____		

**10. Si tiene un negocio, ¿cuál es el uso de la electricidad?**

- a) Congeladores
- b) Cabinas de internet
- c) Equipos de música
- d) Otros: \_\_\_\_\_

**11. ¿Cuál es la fuente principal para la cocción de sus alimentos?**

- e) Electricidad
- f) Leña/madera vegetal
- g) Carbón
- h) Balón de gas

**12. ¿Cuánto gasta en promedio mensual en la fuente primaria para la cocción de sus alimentos?: \_\_\_\_\_**

## Anexo 7. Validez de instrumento de investigación

### VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN N°1

#### JUICIO DE EXPERTO

#### FICHA DE REGISTRO SOBRE DEMANDA ENERGÉTICA EN EL DISTRITO LA COIPA

Responsable: Ximena Zucetty Cruz Cabrera

Luego de analizar y cotejar el instrumento de investigación "Ficha de Registro sobre Demanda Energética en el Distrito La Coipa" le solicitamos que, en base a su criterio y experiencia profesional, valide dicho instrumento para su aplicación.


Nota: Para cada criterio, considere la escala del 1 al 5, donde:

1- MUY POCO	2- POCO	3- REGULAR	4- ACEPTABLE	5- MUY ACEPTABLE
-------------	---------	------------	--------------	------------------

Criterio de validez	Puntuación					Argumento	Observaciones y/o sugerencias
	1	2	3	4	5		
Validez de contenido					X		
Validez de criterio metodológico					X		
Validez de intención y objetividad de medición y observación					X		
Presentación y formalidad del instrumento				X			Mejorar formato P-9.
Total parcial					X		
Total							

#### Puntuación

De 4 a 11:	No válido, reformular	
De 12 a 14:	No válido, modificar	
De 15 a 17:	Válido, mejorar	
De 18 a 20:	Válido, aplicar	X

Apellido y nombre:	Poche Cieza Diana
Especialidad:	Ingeniera Agrónoma
Firma:	

### Anexo 8. Potencial de abastecimiento de energía eléctrica por zonas

Año	Demanda Total	Relleno Sanitario	Instituciones públicas	Miraflores	Barronegro	San Martin	La Coipa	Pueblo viejo	Pueblo nuevo
2021	459 352	6 742,9	1 039,4	55 122,3	50 528,7	110 244,5	183 740,9	18 374,1	18 374,1
2022	476 741	6 742,9	1 039,4	57 209,0	52 441,5	114 417,9	190 696,5	19 069,7	19 069,7
2023	494 790	6 742,9	1 039,4	59 374,8	54 426,9	118 749,6	197 916,1	19 791,6	19 791,6
2024	513 524	6 742,9	1 039,4	61 622,9	56 487,6	123 245,7	205 409,5	20 541,0	20 541,0
2025	532 968	6 742,9	1 039,4	63 956,2	58 626,5	127 912,4	213 187,3	21 318,7	21 318,7
2026	553 150	6 742,9	1 039,4	66 378,0	60 846,5	132 756,1	221 260,1	22 126,0	22 126,0
2027	574 098	6 742,9	1 039,4	68 891,8	63 150,8	137 783,6	229 639,3	22 963,9	22 963,9
2028	595 841	6 742,9	1 039,4	71 500,9	65 542,5	143 001,8	238 336,4	23 833,6	23 833,6
2029	618 409	6 742,9	1 039,4	74 209,0	68 024,9	148 418,1	247 363,4	24 736,3	24 736,3
2030	641 833	6 742,9	1 039,4	77 019,9	70 601,6	154 039,8	256 733,0	25 673,3	25 673,3
2031	666 145	6 742,9	1 039,4	79 937,4	73 276,0	159 874,8	266 458,1	26 645,8	26 645,8
2032	691 380	6 742,9	1 039,4	82 965,6	76 051,8	165 931,3	276 552,1	27 655,2	27 655,2
2033	717 573	6 742,9	1 039,4	86 108,7	78 933,0	172 217,5	287 029,1	28 702,9	28 702,9
2034	744 759	6 742,9	1 039,4	89 371,1	81 923,5	178 742,2	297 903,7	29 790,4	29 790,4
2035	772 977	6 742,9	1 039,4	92 757,2	85 027,5	185 514,5	309 190,8	30 919,1	30 919,1
2036	802 265	6 742,9	1 039,4	96 271,8	88 249,2	192 543,7	320 906,2	32 090,6	32 090,6
2037	832 665	6 742,9	1 039,4	99 919,8	91 593,2	199 839,6	333 066,0	33 306,6	33 306,6
2038	864 218	6 742,9	1 039,4	103 706,2	95 064,0	207 412,4	345 687,3	34 568,7	34 568,7
2039	896 969	6 742,9	1 039,4	107 636,2	98 666,5	215 272,4	358 787,4	35 878,7	35 878,7
2040	930 961	6 742,9	1 039,4	111 715,4	102 405,8	223 430,7	372 384,6	37 238,5	37 238,5
2041	966 244	6 742,9	1 039,4	115 949,3	106 286,8	231 898,6	386 497,6	38 649,8	38 649,8
2042	1 002 865	6 742,9	1 039,4	120 343,8	110 315,2	240 687,7	401 146,1	40 114,6	40 114,6
2043	1 040 876	6 742,9	1 039,4	124 905,1	114 496,4	249 810,3	416 350,4	41 635,0	41 635,0
2044	1 080 329	6 742,9	1 039,4	129 639,5	118 836,2	259 279,0	432 131,6	43 213,2	43 213,2
2045	1 121 279	6 742,9	1 039,4	134 553,5	123 340,7	269 106,9	448 511,5	44 851,2	44 851,2
2046	1 163 782	6 742,9	1 039,4	139 653,9	128 016,1	279 307,8	465 512,9	46 551,3	46 551,3
2047	1 207 899	6 742,9	1 039,4	144 947,8	132 868,8	289 895,7	483 159,4	48 315,9	48 315,9
2048	1 253 689	6 742,9	1 039,4	150 442,6	137 905,7	300 885,3	501 475,4	50 147,5	50 147,5
2049	1 301 216	6 742,9	1 039,4	156 145,9	143 133,8	312 291,8	520 486,4	52 048,6	52 048,6
2050	1 350 547	6 742,9	1 039,4	162 065,6	148 560,1	324 131,2	540 218,6	54 021,9	54 021,9
2051	1 401 749	6 742,9	1 039,4	168 209,9	154 192,4	336 419,7	560 699,5	56 070,0	56 070,0
2052	1 454 894	6 742,9	1 039,4	174 587,3	160 038,3	349 174,5	581 957,5	58 195,8	58 195,8
2053	1 510 055	6 742,9	1 039,4	181 206,6	166 106,1	362 413,3	604 022,1	60 402,2	60 402,2
2054	1 567 310	6 742,9	1 039,4	188 077,1	172 404,0	376 154,3	626 923,8	62 692,4	62 692,4
2055	1 626 736	6 742,9	1 039,4	195 208,3	178 941,0	390 416,7	650 694,5	65 069,4	65 069,4
2056	1 688 417	6 742,9	1 039,4	202 610,1	185 725,9	405 220,2	675 367,0	67 536,7	67 536,7

Fuente: Elaboración propia