



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Proyecto de investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniera en Gestión

Perfil del Proyecto de Investigación:

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO PARA  
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL VERTEDERO DE DESECHOS  
SÓLIDOS DEL CANTÓN VENTANAS, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO  
2016”**

**Autora:**

Romero Carpio Johanny Lissette

**Docente Auspiciante:**

Ing. Julio César Pazmiño Rodríguez, MSc.

**Quevedo-Los Ríos- Ecuador**

**2016-2017**

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO PARA APROVECHAMIENTO  
ENERGÉTICO EN EL VERTEDERO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN  
VENTANAS, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO 2016”**

2017

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Yo, **JOHANNY LISSETTE ROMERO CARPIO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. \_\_\_\_\_

**Romero Carpio Johanny Lisette**

C.c. 120629816-6

# **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante Johanny Lissette Romero Carpio realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO PARA APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL VERTEDERO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN VENTANAS, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO 2016”**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

**Ing. Julio Cesar Pazmiño Rodríguez**  
**Tutor del proyecto de investigación**

**CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE  
PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO  
ACADÉMICO**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Titulo

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO PARA  
APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO EN EL VERTEDERO DE DESECHOS  
SÓLIDOS DEL CANTÓN VENTANAS, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO 2016”**

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de  
Ingeniera en Gestión Ambiental

Aprobado por:

---

Ing. Mariela Díaz Ponce

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Norma Guerrero

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Blgo. Juan Pablo Urdánigo

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2017

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por la bendición que me brinda día con día

A mi mamá que siempre ha estado conmigo dándome ánimo y alentándome cada vez que lo he necesitado, sin su ayuda no hubiera logrado la obtención de mi título.

A mi tutor el ing. Julio Pazmiño eternamente agradecida por su colaboración y ayuda durante la elaboración de este proyecto y por todos los años en que compartió su conocimiento dentro del aula de clases.

A todos los docentes que formaron parte integral durante estos años de estudio, de manera muy especial a las ing. Mariela Díaz y Carolina Tay-Hing por ser siempre ejemplo y mano amiga.

A mi novio y a mis familiares por siempre estar pendiente de mí y estar dispuestos a brindarme su ayuda y apoyo en todo momento.

## **DEDICATORIA**

Dedicada a Dios y a mis padres el Sr. Enrique Romero y Ing. Grace Carpio, con una dedicatoria muy especial a mi mamá que sin ella no hubiera alcanzado esta meta, este título lo obtuve yo, pero es de ella y por ella.

A mi hermana por ser luz en mi vida y por quien trato de ser mejor cada día.

A mi novio por siempre brindarme su ayuda en todo momento.

## RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la producción de biogás en el vertedero de desecho sólidos del cantón Ventanas Provincia de Los Ríos, buscando proponer un uso adicional a los desechos que allí se depositan sin ningún tipo de utilidad secundaria desaprovechando los recursos económicos que estos producirían, esta valorización de los desechos también ayudaría a mejorar el entorno ambiental del vertedero. Para la realización de este trabajo se siguieron tres objetivos: evaluar la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos, estimar la producción de metano en el vertedero y evaluar diferentes usos energéticos para el aprovechamiento de metano. Para la realización de estos objetivos se utilizaron distintos tipos de metodologías y herramientas como es el caso de encuestas tipo Likert, método estequiométrico, ecuación de primer orden de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), IPCC Inventory software desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y Excel. Asimismo, se realizó un análisis de rentabilidad para determinar la viabilidad del proyecto en caso de ejecutarse.

Con los métodos aplicados se obtuvieron los datos de producción de biogás obteniendo un mayor valor de producción en el método estequiométrico con  $0.19 \text{ m}^3$  de metano por cada kg de residuo y para el IPCC y el modelo de la EPA valores relativamente más bajos esto debido a que el método estequiométrico considera la mezcla integral de los desechos en las condiciones más óptimas, en cuanto a la rentabilidad del proyecto se demostró la viabilidad del mismo obteniendo un TIR de 12.22% y un VAN de \$ 44.167,72

**Palabras claves:** IPCC Inventory software, Estequiométrico, Modelo de la EPA, Biogás, residuos.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of evaluating the biogas production in the solid waste landfill of the Province of Los Ríos province, seeking to propose an additional use to the wastes that are deposited there without the type of secondary utility, not using the economic resources That is producing, this valuation of waste also help improve the environmental environment of the landfill. In order to carry out this work, three objectives were followed: to evaluate the management of the solid waste landfill, to estimate the methane production in the landfill and to evaluate different energy uses for methane use. In order to achieve these objectives, different types of methodologies and tools were used, such as Likert type surveys, sequencing methods, the Environmental Protection Agency (EPA) first-order equation, IPCC Inventory software developed by the Intergovernmental Panel Climate Change and Excel. Likewise, a profitability analysis was carried out to determine the viability of the project in case of execution.

With the applied methods the biogas production data were obtained obtaining a greater value of production in the stoichiometric method with 0.19 m<sup>3</sup> of methane for each kg of waste and for the IPCC and the model of the EPA relatively lower values this because The stoichiometric method considers the integral mixture of the wastes in the most optimal conditions, as far as the profitability of the project was demonstrated the viability of the same obtaining a TIR of 12.22% and a VAN of \$ 44,167.72

**Key words:** IPCC Inventory software, Stoichiometric, EPA model, Biogas, waste.

# ÍNDICE

Portada.....	i
Declaración de autoría y cesión de derechos .....	iii
Certificación de culminación del proyecto de investigación .....	iv
Certificado del reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico .....	v
Proyecto de investigación.....	vi
Agradecimiento .....	vii
Dedicatoria .....	viii
Resumen ejecutivo .....	ix
Abstract .....	x
Índice.....	xi
Índice de Tablas .....	xv
Índice de Fotografía .....	xvi
Índice de Gráficos .....	xvi
Índice de Figuras .....	xvi
Índice de Ecuaciones.....	xvii
Índice de Anexo .....	xviii
Código dublín.....	xix
Introducción .....	22

Capítulo I.....	24
Contextualización de la investigación.....	24
1.1. Problema de investigación.....	25
1.1.1. Planteamiento del problema.....	25
1.1.2. Formulación del problema.....	26
1.1.3. Sistematización del problema.....	26
1.2. Objetivos.....	27
1.2.1. Objetivo General.....	27
1.2.2. Objetivos Específicos.....	27
1.3. Justificación.....	28
Capítulo II .....	29
Fundamentación teórica de la investigación .....	29
2.1. Marco Conceptual.....	30
2.1.1. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRS).....	30
2.1.2. Generación.....	30
2.1.3. Almacenamiento Temporal.....	31
2.1.4. Recolección y Transporte.....	31
2.1.5. Tratamiento y Aprovechamiento.....	32
2.1.6. Disposición Final.....	32
2.1.7. Digestión Anaerobia.....	33
2.1.8. Etapas de la Anaerobiosis.....	35

2.1.9.	Factores que inciden en la producción de metano.....	38
2.1.10.	Tratamiento y producción del biogás. ....	38
2.1.11.	Usos del biogás. ....	41
2.1.12.	Aplicación del biogás. ....	41
2.2.	Marco Referencial. ....	43
Capítulo III.....		46
Metodología de la investigación .....		46
3.1.	Localización.....	47
3.2.	Tipo de investigación.....	48
3.2.1.	Investigación de campo. ....	48
3.2.2.	Investigación exploratoria. ....	48
3.3.	Métodos de la investigación. ....	48
3.3.1.	Método deductivo.....	48
3.3.2.	Método analítico.....	48
3.4.	Fuentes de recopilación de información. ....	49
3.5.	Diseño de la investigación.....	49
3.5.1.	Evaluación de la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos del Cantón Ventanas.....	49
3.5.2.	Estimación de la producción de metano en el vertedero del Cantón.....	51
3.5.3.	Evaluación de diferentes usos energéticos para aprovechamiento del metano. .	57
3.6.	Instrumentos de la investigación. ....	58

3.7. Tratamiento de los datos.....	58
3.8. Recursos humanos y materiales.....	59
3.8.1. Recursos humanos.....	59
3.8.2. Materiales.....	59
Capítulo IV.....	60
Discusión y resultados.....	60
4.1. Resultados.....	61
4.1.1. Evaluación de la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos del cantón Ventanas.....	61
4.1.2. Estimación de la producción de metano en el vertedero del Cantón.....	72
4.1.3. Evaluación de diferentes usos energéticos para aprovechamiento del metano.	86
Capítulo V.....	92
Conclusiones y recomendaciones.....	92
5.1. Conclusiones.....	93
5.2. Recomendaciones.....	94
Capítulo VI.....	95
Bibliografía.....	95
Capítulo VII.....	101
Anexos.....	101

## Índice de Tablas

Tabla 1.- Características generales del biogás. ....	34
Tabla 2. Coordenadas del área de estudio. ....	47
Tabla 3. Pesaje de los desechos generados (kg).....	64
Tabla 4. Valores propios o Eigenvalores. ....	67
Tabla 5. Pesos.....	68
Tabla 6. Cargas rotadas y comunalidades .....	69
Tabla 7. Segunda rotación de las cargas y comunalidades .....	69
Tabla 8. Composición porcentual.....	72
Tabla 9. Producción Per Cápita anual .....	72
Tabla 10. Composición elemental de los residuos en el vertedero de Ventanas.....	73
Tabla 11. Composición elemental .....	73
Tabla 12. Predicción estequiométrica de producción de biogás .....	74
Tabla 13. Producción de metano mediante IPCC .....	76
Tabla 14. Producción de metano .....	84
Tabla 15. resumen comparativo de producción de metano (m <sup>3</sup> /año).....	85
Tabla 16. Costos de extracción .....	87
Tabla 17. Costos de generación de energía .....	88
Tabla 18. Costos de operación y mantenimiento .....	88
Tabla 19. Ingresos .....	89
Tabla 20. Rentabilidad .....	90

Tabla 21. Flujo de Caja .....	91
-------------------------------	----

## **Índice de Fotografía**

Fotografía 1. Carro recolector. ....	62
Fotografía 2. Disposición de residuos. ....	62
Fotografía 3. Proceso de selección de material reciclable .....	63
Fotografía 4. Compactación o apilado. ....	64

## **Índice de Gráficos**

Grafico 1. Sedimentación .....	67
Grafico 2. Dendograma .....	70
Grafico 3. Producción de metano según el modelo EPA .....	85

## **Índice de Figuras**

Figura 1. Localización del área de estudio. ....	47
Figura 2. Interfaz del IPCC Inventory software. ....	56
Figura 3. Parámetros .....	77
Figura 4. datos de disposición .....	78
Figura 5. Población .....	79
Figura 6. Cantidad de desechos generados por tipo .....	80

Figura 7. Hoja de cálculo de metano generado .....	81
Figura 8. valor de generación .....	82
Figura 9. Metano generado por tipo de residuo .....	83

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje en peso del material. ....	52
Ecuación 2. Formula estequiométrica .....	52
Ecuación 3. Formula estequiométrica considerando nitrógeno. ....	53
Ecuación 4. Formula estequiométrica considerando azufre. ....	53
Ecuación 5. Estimación de metano. ....	54
Ecuación 6. Masa de carbono orgánico degradable disuelto. ....	54
Ecuación 7. Potencial de generación de metano. ....	55
Ecuación 8. Estimativo del metano. ....	57
Ecuación 9. Potencia .....	89
Ecuación 10. Energía Anual.....	89
Ecuación 11. Calculo de ingreso económico .....	89

## Índice de Anexo

Anexo 1. Foda .....	102
Anexo 2. Ítems .....	103
Anexo 3. Ítems seleccionados para análisis de componentes principales.....	104
Anexo 4. Datos generales de encuestas.....	105
Anexo 5. Ítems seleccionados para componentes principales.....	109
Anexo 6. Fotografías .....	113

## CÓDIGO DUBLÍN

<b>Título:</b>	“Evaluación de la producción de metano para aprovechamiento energético en el vertedero de desechos sólidos del cantón Ventanas, provincia de los ríos, año 2016”			
<b>Autor:</b>	Romero Carpio Johanny Lissette			
<b>Palabra clave:</b>	IPCC Inventory software	Estequiométrico	Modelo de la EPA	Biogás
<b>Fecha de publicación:</b>	Abril, 2017			
<b>Editorial:</b>	UTEQ			
<b>Resumen:</b>	<p>La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la producción de biogás en el vertedero de desecho sólidos del cantón Ventanas Provincia de Los Ríos, buscando proponer un uso adicional a los desechos que allí se depositan sin ningún tipo de utilidad secundaria desaprovechando los recursos económicos que estos producirían, esta valorización de los desechos también ayudaría a mejorar el entorno ambiental del vertedero. Para la realización de este trabajo se siguieron tres objetivos: evaluar la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos, estimar la producción de metano en el vertedero y evaluar diferentes usos energéticos para el aprovechamiento de metano. Para la realización de estos objetivos se utilizaron distintos tipos de metodologías y herramientas como es el caso de encuestas tipo Likert, método</p>			

estequiométrico, ecuación de primer orden de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), IPCC Inventory software desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático y Excel. Asimismo, se realizó un análisis de rentabilidad para determinar la viabilidad del proyecto en caso de ejecutarse.

Con los métodos aplicados se obtuvieron los datos de producción de biogás obteniendo un mayor valor de producción en el método estequiométrico con 0.19 m<sup>3</sup> de metano por cada kg de residuo y para el IPCC y el modelo de la EPA valores relativamente más bajos esto debido a que el método estequiométrico considera la mezcla integral de los desechos en las condiciones más óptimas, en cuanto a la rentabilidad del proyecto se demostró la viabilidad del mismo obteniendo un TIR de 12.22% y un VAN de \$ 44.167,72.

The present investigation was carried out with the objective of evaluating the biogas production in the solid waste landfill of the Province of Los Ríos province, seeking to propose an additional use to the wastes that are deposited there without the type of secondary utility, not using the economic resources That is producing, this valuation of waste also help improve the environmental environment of the landfill. In order to carry out this work, three objectives were followed: to evaluate the management of the solid waste landfill, to estimate the methane production in the landfill and to evaluate different energy uses for methane use. In order to achieve these objectives, different types of methodologies and tools were used, such as Likert type surveys, sequencing methods, the Environmental Protection Agency (EPA) first-order equation, IPCC Inventory software developed by the Intergovernmental Panel Climate Change and Excel. Likewise, a profitability analysis was carried out to determine the viability of the project in case of execution.

With the applied methods the biogas production data were obtained obtaining a greater value of production in the stoichiometric method

	with 0.19 m <sup>3</sup> of methane for each kg of waste and for the IPCC and the model of the EPA relatively lower values this because The stoichiometric method considers the integral mixture of the wastes in the most optimal conditions, as far as the profitability of the project was demonstrated the viability of the same obtaining a TIR of 12.22% and a VAN of \$ 44,167.72
<b>Descripción:</b>	# hojas: dimensiones 29 x 21 cm + CD - ROM
<b>URI:</b>	

## INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios municipales surgen como respuesta a la problemática generada por la producción de residuos sólidos urbanos. Estos desechos tienen un alto impacto negativo sobre los componentes ambientales y el deterioro de la calidad de vida de las comunidades, y es cada vez más preocupante por su aumento acelerado, principalmente en las áreas urbanas [1].

Sin embargo, en la actualidad estos sitios de disposición de residuos sólidos, son considerados fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos como material biológico, gases y otros productos de degradación de desechos orgánicos, constituyendo una importante fuente antropogénica de generación de gases invernadero, representada por el biogás producto de la descomposición biológica de la materia orgánica, que contiene metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de compuestos orgánicos volátiles (COV); que son potencialmente perjudiciales para la calidad del aire y la salud [2].

Los rellenos sanitarios son una fuente potencial para aprovechar los gases emitidos por los residuos, así como para disminuir la contaminación que estos provocan. Los residuos sólidos urbanos (RSU) generados, una vez en confinación. Comienzan a descomponerse y dicho proceso genera gases (biogás). Estos gases son parte de los gases que producen efecto invernadero y se consideran una fuente contaminante. Pueden ser aprovechados para la generación de energía a través de la quema del biogás que los RSU emiten. Al ser así se disminuye hasta en un cincuenta por ciento la contaminación del biogás de los rellenos sanitarios [2].

Cuando el biogás es quemado para transformarlo en energía o simplemente para reducir la contaminación que genera, transforma uno de los componentes más peligrosos para la atmósfera en uno menos ofensivo, por ejemplo, transformando al metano en dióxido de carbono [1].

En el Ecuador aún existen problemas con respecto a la gestión que se le brinda a los desechos sólidos en la etapa de disposición final. Existen múltiples situaciones que limitan la correcta gestión que se les brinda a los desechos y sus agregados como lixiviados y gases. Pero con el paso del tiempo y el manejo de conceptos como conservación y gestión del ambiente que se encuentran íntimamente relacionados entre sí, ha habido un impacto positivo que va creciendo paulatinamente en pro de que se busque las formas más adecuadas de gestión y aprovechamiento de recursos que son fuentes potenciales de energías sustentables. Entre estas energías sustentables o alternativa tenemos la generación de biogás, producto que se origina a partir de la descomposición de material orgánico en un medio anaerobio es decir ausencia de oxígeno, situación que se da de forma repetitiva en un escenario conocido por todos como lo son los botaderos o vertederos de “basura”.

## **CAPÍTULO I**

# **CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación.**

### **1.1.1. Planteamiento del problema.**

La gestión de los residuos sólidos urbanos dentro del cantón Ventanas inicia con la fase de recolección de los desechos a su población global que es aproximadamente 66551 personas según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) 2010, dicho proceso carece de una clasificación de los desechos a recolectar lo que provoca que los residuos que aun cuentan con características aprovechables sean mezclados con el resto de material inaprovechable dificultando la valoración de los mismos. Situación que es arrastrada a lo largo de todo el proceso de gestión de los residuos y que es aún más evidenciada en la fase de disposición final.

En el vertedero del cantón Ventanas, que básicamente es un botadero a cielo abierto, no se cumplen los requisitos técnicos exigidos por la normativa ambiental nacional para que la disposición final en él sea una actividad técnica. Esta situación de precariedad técnica en el vertedero, incluye la falta de un sistema de captación y control de las emisiones del gas que se produce constantemente por la descomposición de la basura orgánica en condiciones anaeróbicas. Esto representa, por un lado, un peligro, porque el metano que forma parte del biogás que se genera en el vertedero, tiene cualidades explosivas, y por lo tanto, tiene el potencial de causar accidentes por explosiones; y, por otro, un desperdicio de energía, dado que el metano tiene propiedades combustibles, con un poder calorífico que le permite ser considerado para diversos fines de aprovechamiento energético, incluyendo la generación de energía eléctrica [3].

### **Diagnóstico**

En el vertedero de desechos sólidos del cantón Ventanas se depositan aproximadamente 15 Ton de desechos sólidos diarios, los mismos que no son aprovechados en forma integral ya que no se posee un adecuado tratamiento de disposición final, muchos de los residuos que son depositados en el vertedero aun cuentan con cualidades que pueden ser utilizadas si se gestionan de una manera integral y adecuada. Esta situación provoca de manera directa un impacto negativo al ambiente sobre, debido a los malos olores que se producen de la descomposición de los desechos.

## **Pronóstico**

El no contar con una gestión adecuada de disposición final de los desechos dificulta el tener conocimiento referencial o certero de las posibilidades de aprovechamiento de los subproductos generados por los desechos sólidos y que tan viable o conveniente es para la población el uso de estos subproductos de forma local o extensiva.

### **1.1.2. Formulación del problema.**

¿Existen las condiciones en el vertedero del cantón Ventanas para aprovechar energéticamente el biogás generado y beneficiar al entorno?

### **1.1.3. Sistematización del problema.**

Por lo antes mencionado y al analizar la situación actual del Cantón se crean otras interrogantes:

¿Cuál es la percepción ciudadana con respecto a la gestión del vertedero?

¿Qué cantidad de metano produce el vertedero del cantón Ventanas?

¿Cuál será el método o medida de aprovechamiento de biogás que este más acorde con la situación del cantón Ventanas?

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Evaluar la producción de metano en el vertedero de desechos sólidos del cantón Ventanas para su aprovechamiento energético.

### **1.2.2. Objetivos Específicos.**

- Evaluar la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos del cantón Ventanas.
- Estimar la producción de metano en el vertedero
- Evaluar diferentes usos energéticos para aprovechamiento del metano.

### **1.3. Justificación.**

La disposición final de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los principales problemas ambientales de la actualidad; sin embargo, los vertederos también son fuente potencial de recursos, como la producción de metano. En virtud de ello, la importancia de la presente investigación radica en que necesario estimar la capacidad de producción de biogás en el vertedero del cantón Ventanas, no sólo por el aprovechamiento que se puede dar al metano como fuente de energía, sino porque el metano puede causar accidentes y explosiones por su propiedad exclusiva.

Su utilidad práctica se explica en términos de aplicar variadas metodologías, incluyendo un software del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), para estimar la producción de metano en el vertedero, y, además, por la evaluación que se hará de las distintas opciones de aprovechamiento energético del metano, principalmente la generación de energía eléctrica.

Asimismo, proveerá de beneficios tanto para la autoridad competente como para la población, debido que se generara información científica que permitirá conocer el estado actual del vertedero en cuanto a la producción de biogás y guiara la acción municipal para garantizar un adecuado manejo y control del mismo, de modo que las poblaciones puedan beneficiarse del aprovechamiento energético del metano, también se evaluara la rentabilidad financiera que proporcionaría a la entidad municipal la aplicación de un proyecto de aprovechamiento de metano.

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco Conceptual.**

### **2.1.1. Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (GIRS).**

En la conferencia de rio de 1992, la denominada cumbre de la tierra, se estableció que la gestión de residuos debería ser contemplada en un modelo de desarrollo sostenible. Según Tchobanoglus y Cols (1998), la gestión del residuo urbano es un conjunto de operaciones realizadas desde su generación hasta su destino final [4].

La GIRS va dirigida a responder a la problemática de los residuos mediante soluciones viables y sostenibles, así como también por medio de la adopción de tecnologías apropiadas, la participación de las comunidades en todos los aspectos del manejo de los residuos y en el cuidado responsable del ambiente. Todo ello va encaminado a incidir positivamente en la situación de la salud pública en la comunidad, en el municipio y en el país y a que se tome en cuenta esta estrategia como un factor importante del desarrollo local [5].

### **2.1.2. Generación.**

Generador es toda persona física o jurídica que produce residuos. Por lo tanto, la generación se refiere a la actividad productora de residuos. En función de la calidad y cantidad de residuos, los generadores pueden ser clasificados en [6].

- Generadores individuales: generadores que no requieren de programas particulares de gestión. Ejemplos: las familias [6].
- Generadores especiales: generadores que requieren de programas particulares de gestión. Ejemplo: empresas [6].

La generación de residuos sólidos de una población se mide en kilogramos (kg) por habitante por día (generación per cápita) y se obtiene a partir de la información obtenida de un muestreo aleatorio en campo, en cada uno de los sectores socioeconómicos de la población [7].

### **2.1.3. Almacenamiento Temporal.**

Abarca las actividades en las que los materiales son identificados como sin ningún valor adicional, son recogidos en recipientes para su posterior evacuación [8].

Se refiere a la modalidad mediante la cual los residuos son depositados y puede ser [6].

- General (cuando no existe separación en origen) o
- Diferenciada (cuando existe separación en origen)

El depósito temporal de residuos peligroso, con carácter previo a su valorización o eliminación, por tiempo inferior a dos años o a seis meses, a menos que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores [9].

### **2.1.4. Recolección y Transporte.**

La recolección de basura es una actividad importante para la sociedad. De hecho, es la más cercana al cliente; por lo que cuando se evalúa el manejo de los residuos sólidos en una comunidad se le da mucha importancia a la recolección, además que suele ser una de las actividades más costosas [10].

Comprende la actividad mediante la cual se pretende con rutas definidas y frecuencia previamente establecida la evacuación de los residuos de los centros o fuentes generadoras. Normalmente, tanto la recolección como el transporte de los residuos sólidos están a cargo de los municipios [8].

La frecuencia de la recolección varía entre cada dos días hasta una vez por semana. En ningún caso, el lapso entre generación hasta la disposición final de los residuos puede ser mayor que una semana para evitar los malos olores y la proliferación de moscas, roedores y otros animales [11].

En el proceso de recolección se involucra el acopio y la carga de los residuos en los vehículos recolectores, para dicho traslado se deberá tener en consideración contar con vehículos habilitados y debidamente acondicionados de manera de garantizar una adecuada contención de los residuos y evitar su dispersión en el ambiente [6].

### **2.1.5. Tratamiento y Aprovechamiento.**

El tratamiento de un residuo sólido es un proceso de transformación físico, químico o biológico para modificar sus características o aprovechar su potencial y mediante el cual se puede generar un nuevo residuo sólido, de características diferentes [12].

Es también la etapa donde los residuos son separados, procesados y transformados. La separación, que puede ser mecánica o manual, tiene como objetivo la obtención de dos subproductos, el primero, subproductos valiosos y otro de rechazo que tiene como destino el vertedero o tratamiento térmico. La transformación reduce el volumen y el peso de los residuos, pero también es donde se puede obtener otros productos o energía, como es el compostaje, la incineración, la pirolisis o la gasificación [8].

Todas las operaciones por las cuales los residuos son tratados para minimizar los impactos ambientales, forman parte de un proceso de valorización de residuos para maximizar su aprovechamiento, así como también su acondicionamiento y así poder brindarles una disposición final adecuada [6].

### **2.1.6. Disposición Final.**

Se refiere esencialmente a la manera como se disponen las basuras, y pasa por el botadero a cielo abierto, el relleno sanitario, la incineración, el enterramiento y otros métodos anaeróbicos, orgánicos, químicos, mecánicos, etc [13].

La técnica más difundida de disposición final es la de relleno sanitario, metodología para la disposición de los residuos sólidos que minimiza el impacto ambiental y los riesgos sanitarios para la población [6].

### **2.1.7. Digestión Anaerobia.**

La digestión anaerobia tiene una larga historia en el campo del tratamiento de las aguas residuales y los desechos orgánicos. La acumulación de los desechos humanos y municipales, en tanques, lagunas o excavaciones en los que permanecían, a temperaturas ambiente y sin control, fue uno de los primeros sistemas de tratamientos de aguas residuales municipales y el primer uso en la iluminación del gas producido tiene una antigüedad de más de 100 años. La primera prueba para regular el uso del gas en la producción de electricidad tuvo lugar en Birmingham, Inglaterra [14].

Puede definírsela como: “Proceso microbiológico anaerobio (ausencia total de oxígeno) donde la materia orgánica se degrada progresivamente, por una población bacteriana heterogénea, hasta producir metano y dióxido de carbono” [15].

Este tipo de descomposición no es más que una fermentación catalizada por bacterias específicas, que sucede espontáneamente en la naturaleza y de la cual se tienen las primeras noticias gracias a Volta (1776). Es el origen del gas de los pantanos, del gas natural de los yacimientos subterráneos e incluso del gas producido en los estómagos de los rumiantes [15]. Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico [16].

### 2.1.7.1. Biogás.

El biogás puede ser producido fermentando materiales orgánicos en ausencia de aire (u oxígeno) con la ayuda de bacterias (microorganismos) para descomponer materiales a intermediarios tales como alcoholes y ácidos grasos y finalmente a metano, dióxido de carbono y agua. El biogás también se ha conocido como el gas del pantano, gas de la alcantarilla, gas de combustible y gas mojado [17].

Es consecuencia de la degradación anaerobia de la materia orgánica presente en los desechos se obtiene, al final del proceso, un gas rico en CH<sub>4</sub> (>50%) y CO<sub>2</sub> (>50%), el cual posee, además, trazas de nitrógeno (N<sub>2</sub>), hidrogeno (H<sub>2</sub>), sulfuro de hidrogeno (H<sub>2</sub>S), vapor de agua, amoniaco (NH<sub>3</sub>), y compuestos aromáticos como estacol y catecol. A este gas, que tiene características de presentar alto valor combustible [18]. Es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable [16].

**Tabla 1.-** Características generales del biogás.

Composición	55 – 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 30 – 45% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauser (2008)

### **2.1.8. Etapas de la Anaerobiosis.**

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas [16].

De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea [16].

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas que se describen a continuación [16].

#### **2.1.8.1. Hidrolisis.**

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas es llevada a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos [16].

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de  $\text{NH}_4^+$  y de la concentración de los productos de la hidrólisis [16].

### **2.1.8.2. Acidogénesis.**

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H<sub>2</sub>) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema [16].

Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos [16].

### **2.1.8.3. Acetogénesis.**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H<sub>2</sub> y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini* [16].

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum* [16].

#### **2.1.8.4. Metanogénesis.**

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización [16].

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato,  $H_2/CO_2$ , formato, metanol y algunas metilaminas [16].

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariotas [16].

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen  $H_2/CO_2$  y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas [16].

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el  $H_2$  como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanotrix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior [16].

### **2.1.9. Factores que inciden en la producción de metano.**

Los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. Muchos investigadores evalúan el desempeño de un sistema anaeróbico en función de la tasa de producción de metano, porque la metanogénesis se considera un paso limitante del proceso. Debido a esto, la biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales. Algunas de estas condiciones ambientales son: temperatura (mesofílica o termofílica), tipo de materias primas, nutrientes y concentración de minerales traza, pH (generalmente cercano a la neutralidad), toxicidad y condiciones redox óptimas [16].

### **2.1.10. Tratamiento y producción del biogás.**

Para un aprovechamiento energético óptimo del biogás se requiere, de un pretratamiento para la eliminación de los componentes que puedan disminuir el rendimiento del biogás o provocar daños en los equipos involucrados en dichos procesos [19].

Por tanto, la limpieza del biogás generado tiene, como objetivo principal, disminuir las concentraciones de H<sub>2</sub>S (Sulfuro de Hidrogeno), CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) y CO (Monóxido de Carbono) que contiene los cuales son tóxicos, reducen la calidad del biogás como combustible y corroen el metal de los equipos y motores en los que se utilice para la generación de energía eléctrica [19].

La capacidad calorífica del biogás es determinada principalmente por el porcentaje de metano presente. El metano puro tiene una capacidad calorífica de 9.97kWe/m<sup>3</sup>, y es el único constituyente significativo de hidrocarburo presente en el biogás que es convertido en energía eléctrica/mecánica a partir de un proceso de combustión. Por otra parte, algunos compuestos aromáticos (ej. Benceno) e hidrocarburos clorados (ej. Cloroetano) pueden causar daños en la salud, otros son muy olorosos (ej. Terpenos, esteroides y tioles) y algunos pueden dañar la planta de utilización de gas (ej. Organohalogenados, especies de azufre y siloxanos). Por consiguiente, la purificación del biogás es importante tanto desde el punto de vista de salud como del medio ambiente e impacta en el funcionamiento y la eficiencia del equipo de biogás. La ventaja de este tipo de combustible radica en que es amigable con el ambiente, limpio y barato [20].

### **2.1.10.1. Tratamiento primario.**

Las tecnologías de tratamiento primario representan la primera etapa en la reducción de la cantidad de contaminantes del biogás y normalmente usan operaciones de procesos físicos simples. Los principales contaminantes removidos (o reducidos) son agua (contaminada) llamada “condensando” y partículas. Estas tecnologías se han empleado por muchos años en diferentes procesos y son actualmente adaptadas a las plantas de manejo de biogás [21].

### **2.1.10.2. Tratamiento secundario.**

Los tratamientos secundarios son diseñados para proporcionar un nivel de limpieza de gas mayor que el alcanzado utilizando sólo tratamiento primario e incluyen tratamiento físico y químicos [21].

#### **2.1.10.2.1. Eliminación de CO<sub>2</sub>.**

Absorción física: Los métodos de absorción fisicoquímicos se utilizan normalmente en la purificación de biogás ya que son efectivos incluso a bajos caudales. Además, este método es menos complicado, requiere poca infraestructura y es de bajo [20].

Absorción química: la absorción química implica la formación de enlaces químicos reversibles entre el soluto y el solvente. La regeneración del solvente; por lo tanto, comprende la ruptura de esos enlaces y el correspondiente aporte de energía.

Los solventes químicos generalmente emplean soluciones acuosas de aminas (ej. Mono- di- o tri- ethanolamine) o soluciones acuosas de sales alcalinas (ej. Hidróxido de sodio, potasio y calcio) [20].

#### **2.1.10.2.2. Eliminación de H<sub>2</sub>S.**

Proceso seco de oxidación: se utiliza para remover H<sub>2</sub>S de una corriente de gas que puede convertirse en azufre u óxido de azufre. Este proceso se usa cuando el contenido de azufre del gas es relativamente bajo y se requiere una alta pureza. Algunos de estos métodos son: introducción de aire/hidrogeno dentro del sistema de biogás y adsorción química [20].

El primero es un proceso simple y de bajo costo. No se necesitan químicos ni equipamientos especiales. Dependiendo de la temperatura, el tiempo de reacción y el lugar donde el aire se agrega, la concentración de H<sub>2</sub>S se puede reducir en un 95 a menos de 50 ppm [20].

En el segundo método el H<sub>2</sub>S reacciona con óxido de hierro u óxidos para formar sulfuro de hierro. El biogás pasa a través de pelotitas de óxido de hierro para remover el H<sub>2</sub>S. Cuando las pelotitas se cubren completamente con sulfuro, son removidas desde el tubo para la regeneración del sulfuro. Las esponjas de hierro son tecnologías muy utilizadas en algunos lugares ya que pueden reducir los niveles de H<sub>2</sub>S desde 3600 ppm a 1 ppm [22].

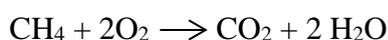
Procesos de oxidación en fase líquida: este proceso se usa para el tratamiento de gases que contienen relativamente bajas concentraciones de H<sub>2</sub>S, este puede ser un proceso de absorción físico o un proceso de absorción químico. En los procesos absorción físicos del H<sub>2</sub>S puede ser absorbido por el solvente. Uno de los solventes es el agua. Pero el consumo de agua es muy alto para la absorción de pequeñas cantidades de H<sub>2</sub>S. Si algunos químicos, como el NaOH, son agregados al agua el proceso de absorción es mejorado. Esto forma sulfuro de sodio o hidrosulfuro de sodio, que no se regenera y se genera residuos líquidos. En la absorción química del H<sub>2</sub>S los químicos usados pueden ser sólidos o líquidos y pueden ser aplicados en torres de contacto batch o pueden inyectarse directamente a la cañería del gas. El subproducto de la reacción es generalmente separado y tratado como desecho. El producto químico es consumido y el absorbente puede ser regenerado [20].

### **2.1.11. Usos del biogás.**

Para explicar el uso que se le da al biogás ahí que partir explicando el principio de la combustión que se detalla a continuación:

#### **2.1.11.1. Principios de la combustión.**

La combustión es una reacción química en la cual ocurre una rápida oxigenación/oxidación del biogás. La combustión completa puede ser representada por la siguiente ecuación química:



El requerimiento de aire mínimo sería del 21% pero esta cifra debe ser aumentada para lograr una buena combustión. La relación aire-gas puede ser optimizada aumentando la presión del aire, incrementando la apertura de la válvula dosificadora de gas (el biogás requiere de una apertura 2 a 3 veces mayor a la utilizada por el metano puro y modificando la geometría del paso de aire desde el exterior) [16].

La presión adecuada para un óptimo uso del biogás oscila entre los 7 y los 20 mbar. Se debe tener especial precaución en este aspecto, para lo cual se debe calcular las pérdidas de presión de salida del gasómetro (adicionándole contrapesos en el caso de gasómetros flotantes) [16].

### **2.1.12. Aplicación del biogás.**

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos [16].

#### **2.1.12.1. Producción de calor o vapor.**

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación [16].

Los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas. El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo. Se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H<sub>2</sub>S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C [16].

### **2.1.12.2. Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad.**

Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H<sub>2</sub>S (bajo 100 ppm) y vapor de agua [16].

Las celdas de combustible se consideran las plantas de energía a pequeña escala del futuro para la producción de electricidad y calor con una eficiencia superior al 60% y bajas emisiones [16].

### **2.1.12.3. Combustible para vehículos.**

El uso vehicular del biogás, es decir, vehículos capaces de funcionar únicamente con biogás o con una mezcla coordinada de biogás/gasolina es hoy una realidad, especialmente en flotas de camiones de basura, autobuses urbanos o vehículos de uso interno en instalaciones industriales [19].

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de

vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible [16].

El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diesel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido [16].

Sin embargo, su difusión está limitada por una serie de problemas:

- A fin de permitir una autonomía razonable el gas por su volumen debe ser almacenado en contenedores cilíndricos de alta presión (200 a 300 bar); este tipo de almacenamiento implica que el mismo deba ser purificado antes de su compresión.
- La conversión de los motores es costosa (instalación similar a la del gas natural) y el peso de los cilindros disminuye la capacidad de carga de los vehículos.
- Por último, la falta de una adecuada red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso.

## **2.2. Marco Referencial.**

- **Proyecto de biogás Relleno Sanitario El Inga I y II.**

Es la primera planta de generación de energía eléctrica aprovechando el biogás generado en el relleno sanitario el Inga I y II con 5 MW de potencia, se encuentra ubicada al interior del relleno sanitario El Inga, en la parroquia Pifo, cantón Quito, provincia de Pichincha [23].

Datos de la empresa constructora.

EMPRESA: GASGREEN S.A.

CONTRATO TIPO: GENERADOR

TIPO DE GENERACIÓN: BIOGÁS LÍNEA DE TRANSMISIÓN: 22.8 KV

SUBESTACIÓN: SAN RAFAEL 22.8 KV EEQ

- **Proyecto de Biogás Pichacay.**

En la provincia del Azuay, el proyecto Pichacay está ubicado a 21 kilómetros de la ciudad de Cuenca y contempla el abastecimiento de la demanda de energía nacional a través del sistema de biogás aplicado en el relleno sanitario Pichacay, resultando una potencia de 2MW.

La construcción de este proyecto contempla la perforación de 30 pozos profundos para extraer el biogás y conducirlo hasta el sistema que elimina su humedad, que posteriormente canaliza el producto por una tubería de polietileno de alta densidad, conectada a dos motores generadores de 1MW de potencia cada uno.

A partir de su operación en 2015, el proyecto beneficia principalmente a las poblaciones cercanas fomentando el desarrollo local y aportando a la educación y salud de la zona [24].

Datos de la empresa constructora.

EMPRESA: EMAC BGP – ENERGY CEM

CONTRATO TIPO: GENERADOR

ENERGÍA MEDIA ANUAL: 7.013 MWH-AÑO

SUBESTACIÓN: TIPO CONVENCIONAL JUNTO A CASA DE MÁQUINAS 0,480 KV– 22 KV HACIA LA EERCS CA.

LÍNEA DE TRANSMISIÓN: 22 KV

De acuerdo con Crisanto, la cantidad de gas estimada a ser obtenida del Relleno del Inga, se calculó a partir del modelo de degradación de primer orden sugerido por la EPA y adaptado para el Ecuador. Para su uso es necesario conocer el promedio anual de recepción de residuos sólidos, el número de años que el relleno lleva abierto o que relleno lleva cerrado, sin recibir residuos, el potencial de generación de metano y la tasa de generación anual de metano de los residuos. Una vez llenado estos campos el software arroja los resultados aproximados de la cantidad de biogás que se podría obtener del relleno por año, durante el tiempo que dura el proyecto, que es aproximadamente quince años contados desde el año 2014. Una vez estimada la cantidad de biogás, se realiza la analogía con un estimado de concentración de CH<sub>4</sub>, del 95%, a la cantidad de kWh que se obtendría. Con este dato teórico se escoge el generador más adecuado en función de los parámetros técnicos y que estén disponibles en el mercado. Como último paso y decisivo, se realiza el estudio de factibilidad económica del proyecto, arrojando resultados satisfactorios que apuntalaban la decisión de aprovechar el biogás generado en el Relleno Sanitario del Inga [25].

Según la investigación realizada en relleno sanitario Minas de Huascachaca del Cantón santa Isabel por Lalvay y Vidal, empleando la ecuación de degradación de primer orden dada por la EPA se obtuvo que el relleno produce 40 m<sup>3</sup>/h del cual el 50% es metano (CH<sub>4</sub>) cuyo poder calorífico es 10 Kwh/m<sup>3</sup>, la planta inicio su producción de electricidad en el año 2014 empleando un generador de 60Kw de potencia y con el paso de los años y el incremento del depósito de desechos dentro del relleno con un 20% podrán expandir su producción de electricidad y en el 2023 llegar a 642Kw, cantidad que se la entregaría a la red eléctrica local y así parte de los desechos se transformarían en energía limpia [26].

## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

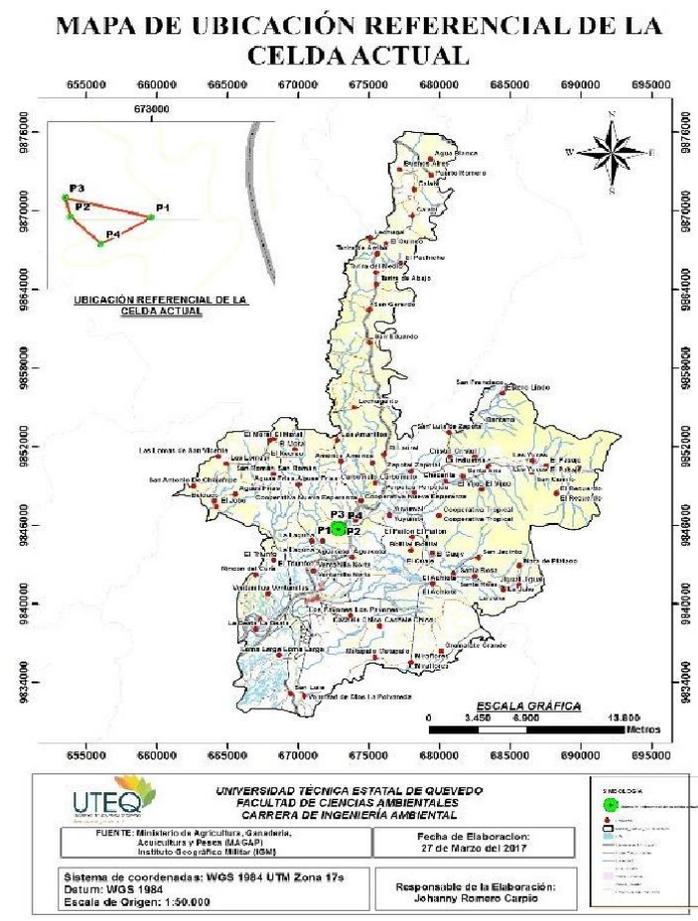
### 3.1. Localización.

El cantón Ventanas está ubicado en el centro de la provincia de Los Ríos posee un rango altitudinal que está entre los 20 y 1120 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) y su vertedero de desechos sólidos se encuentra localizado en el Km 7 de la via Ventanas-Quevedo con las siguientes coordenadas UTM, según datum WGS84, que significa Sistema Geodésico Mundial de 1984, zona 17m sur [3].

Tabla 2. Coordenadas del área de estudio.

E	N
673000	984574
672807	984574
672794	984579
672880	984567

Figura 1. Localización del área de estudio.



Fuente: geoportal de IGM  
 Elaborado por: autora

### **3.2. Tipo de investigación.**

El tipo de investigación es exploratoria debido a los pocos datos o antecedentes que se poseen sobre el tema dentro del cantón Ventanas.

#### **3.2.1. Investigación de campo.**

Esta investigación se realizó de manera in situ, consistió en realizar una actividad de caracterización de los residuos del actual botadero del cantón con el fin de ratificar la información obtenida de forma general para llevar a cabo la consecución de los objetivos planteados.

#### **3.2.2. Investigación exploratoria.**

La presente investigación es de orden exploratorio porque para su realización se visitó el botadero de basura del cantón Ventanas para recopilar información logística y de gestión para así mediante la información obtenida poder generar información antes inexistente.

### **3.3. Métodos de la investigación.**

#### **3.3.1. Método deductivo.**

Dicho método permitió el análisis de la información recopilada y así encontrar la metodología más adecuada o idónea para la predicción del biogás según las condiciones del cantón y su vertedero de desechos.

#### **3.3.2. Método analítico.**

Este método permite el respectivo análisis e interpretación de datos recopilados durante el proceso investigativo, así como la aplicación de ecuaciones para los valores estimados en generación de residuos y poder llevar a cabo la predicción estimada de biogás que se produce en el botadero.

### **3.4. Fuentes de recopilación de información.**

Para llevar a cabo este proyecto las fuentes principales de consulta e información fueron tesis, libros y artículos científicos que se encuentren en las bibliotecas disponibles para consulta, y que estén relacionadas de forma directa o indirecta con el tema planteado en la investigación.

#### **3.4.1. Fuentes primarias.**

Las consultas de fuentes primarias fueron realizadas en libros, revistas científicas o informes técnicos de origen nacional o internacional que tuvieron relativo parecido con el tema de trabajo realizado en este proyecto.

#### **3.4.2. Fuentes secundarias.**

Se consultó libros virtuales, papers, artículos científicos, sitios virtuales de organizaciones nacionales o internacionales que realizaron investigaciones acordes al tema propuesto en el proyecto.

### **3.5. Diseño de la investigación.**

#### **3.5.1. Evaluación de la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos del Cantón Ventanas.**

Para el proceso de evaluación de la gestión del vertedero del Cantón se llevaron a cabo tres procesos consecutivos.

- 1) Observación técnica de sus instalaciones y procesos.
- 2) Entrevista con el personal administrativo (Directora del departamento de higiene y medio ambiente del Municipio del cantón Ventanas).
- 3) Encuesta ciudadana sobre la gestión del vertedero y su potencial.

La encuesta ciudadana (ver anexo 2) cuya temática fue dirigida hacia la gestión del vertedero y su potencial se la llevo a cabo implementando la escala creada por Rensis Likert (1931), con dicha escala estadística se midió principalmente las actitudes que la población manifiesta en relación a la gestión del vertedero y de los residuos, las mismas que pueden ser favorables, desfavorables o neutras. Para la preparación de las encuestas aplicando esta metodología se siguieron los siguientes pasos.

1. Preparación de los ítems iniciales; se elaboró una serie de enunciados afirmativos y negativos sobre el tema a evaluar.
2. Administración de los ítems a una muestra representativa de la población cuya actitud deseamos medir.
3. Asignación de puntajes a los ítems; se les asigno un puntaje a cada ítem, a fin de clasificarlos según reflejen actitudes positivas o negativas.
4. Asignación de puntuaciones a los sujetos; la puntuación de cada sujeto se obtuvo mediante la suma de las puntuaciones de los distintos ítems.
5. Análisis y selección de los ítems; mediante la aplicación de análisis estadísticos (componentes principales y factoriales) se seleccionaron los datos ajustados al momento de efectuar la discriminación de la actitud en cuestión, y se rechazaron los que no cumplieron con este requisito.

### **3.5.2. Estimación de la producción de metano en el vertedero del Cantón.**

Para la estimación de producción de metano se utilizaron 3 métodos:

- 1) El estequiométrico
- 2) El software desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de la ONU (IPCC Inventory Software) y
- 3) El modelo dado por la Agencia de Protección Ambiental conocido por sus siglas en inglés (EPA).

Con el fin de contar con información real y veraz sobre los residuos que llegan al vertedero del Cantón, se realizó un proceso de caracterización aplicando el método de cuarteo según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-015 [27]. El proceso fue llevado a cabo a la llegada del primer camión recolector con capacidad de 8 toneladas, se seleccionó aleatoriamente una muestra y se descargó la muestra en una zona asignada del vertedero. La muestra total para cuarteo fue de 5000 kg y la muestra para caracterización fue de 46kg. De la muestra para caracterización se seleccionaron los subproductos de acuerdo con la clasificación de Gallardo et al [29]. La muestra obtenida en el sitio se trasladó a una superficie limpia y cubierta con bolsas de polietileno y se procedió a la clasificación física. Se realizaron diferentes cribados y los residuos se clasificaron en categorías, se describieron cada uno de los componentes individuales que constituyeron la muestra de RSU (Residuos Sólidos Urbanos) en masa, y su distribución relativa en porcentajes en peso. Debido a las condiciones del sitio, de los residuos y a errores humanos, se estima la exactitud de este estudio fue de  $\pm 10\%$ .

La determinación de la composición física se realizó con base al peso total después de realizado el cuarteo y a los pesos registrados de cada material. Mediante la siguiente fórmula se obtuvieron los porcentajes de cada material.

Ecuación 1. Porcentaje en peso del material.

$$Pi = \frac{PM_i}{PT} * 100$$

Dónde:

Pi= Porcentaje en peso del material (%)

PMi = Peso del material i (kg)

PT= Peso total de la muestra (kg)

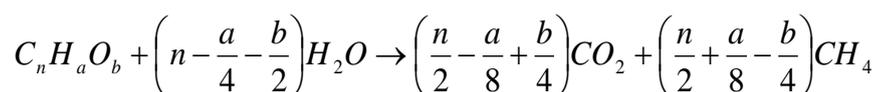
Este proceso permitió crear una tabla categórica que contengan datos de la caracterización física de los residuos sólidos urbanos que llegan al vertedero cuyo dato es: composición física porcentual de los residuos.

### 3.5.2.1. Predicción de producción de metano mediante estequiometria.

Para la aplicación del modelo estequiométrico en la estimación de producción de biogás se consideró lo establecido por Montalvo y Guerrero [18]. Que proponen que es posible hacer un estimado de la producción de biogás y consecuentemente de la biodegradación de la materia orgánica, a partir de las sustancias que conforman un residual.

Esta estimación se hizo de acuerdo a la fórmula del compuesto y a la estequiometría correspondiente a la producción de CH<sub>4</sub>, asumiendo que el tiempo de biodegradación es infinito y que no existen inhibiciones. Si se conoce la composición química de los materiales que van a ser sometidos a anaerobiosis puede calcularse la cantidad de gas generada durante el proceso mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Formula estequiométrica

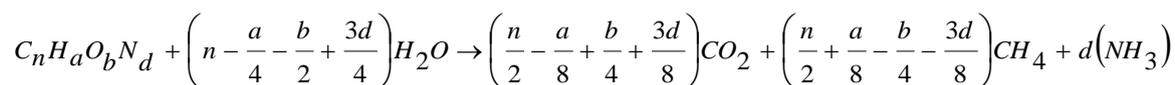


Donde  $C_n H_a O_b$  es la fórmula química del compuesto

Kiely [28]. Indica que la ecuación estequiométrica precedente para la producción de metano corresponde a Buswell y Mueller [29].

En el caso en que el compuesto o sustrato incluya el nitrógeno orgánico en su composición, la ecuación estequiométrica para la producción de metano adquiere la siguiente forma:

**Ecuación 3.** Formula estequiométrica considerando nitrógeno.



De acuerdo con Rodinger (1967), la reacción de la materia orgánica en la anaerobiosis incluyendo el azufre en su composición, puede formularse de la siguiente manera:

**Ecuación 4.** Formula estequiométrica considerando azufre.



donde,  $x = \frac{1}{8}(4c + h - 2o - 3n - 2s)$ ;  $y = \frac{1}{4}(4c - h - 2o + 3n + 2s)$

### 3.5.2.2. Predicción de producción de metano mediante IPCC Inventory Software.

Para la estimación de biogás empleando el software desarrollado por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático conocido por sus siglas en inglés (IPCC Inventory Software) se siguió la metodología que el software plantea que consiste en el método de descomposición de primer orden en donde el carbono se degrada formando metano. La expresión matemática de este modelo es la siguiente:

Ecuación 5. Estimación de metano.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[ \sum_x \text{CH}_4 \text{ generado}_{x,T} - R_t \right] \cdot (1 - OX_T)$$

Donde emisiones de CH<sub>4</sub> es la cantidad de metano durante el año T en Gg; T es el año del inventario; x es la categoría o tipo de desecho y/o material; R<sub>T</sub> es el metano recuperado durante el año; OX<sub>T</sub> factor de oxidación durante el año T. (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático. 2006). Asimismo, el modelo menciona la entrada de la cantidad de materia orgánica degradable (DOC<sub>m</sub>), que se encuentra contenida en los residuos eliminados en los sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS).

“El metano potencial que se genera a través de los años se estimó sobre la base de las cantidades y la composición de los desechos eliminados en los SEDS y de las prácticas de gestión en los sitios de eliminación. La base para el cálculo fue la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto -DDOC-” [30].

**Ecuación 6.** Masa de carbono orgánico degradable disuelto.

$$\text{DDOC}_m = W * \text{DOC} * \text{DOCF} * \text{MCF}$$

donde DDOC<sub>m</sub> es la masa del carbono orgánico degradable disuelto -DDOC- dada en Gg; W es la masa de los desechos depositados; DOC es el carbono orgánico degradable durante el año de deposición; DOC<sub>f</sub> fracción del DDOC que se puede descomponer; MCF es el factor de corrección de CH<sub>4</sub> para la descomposición aeróbica durante el año de descomposición [30].

De otra parte, se tiene que el potencial de generación de metano es igual al producto del DDCOm, la concentración de metano en el gas (F) y el cociente del peso molecular del metano y el C (16/12).

Ecuación 7. Potencial de generación de metano.

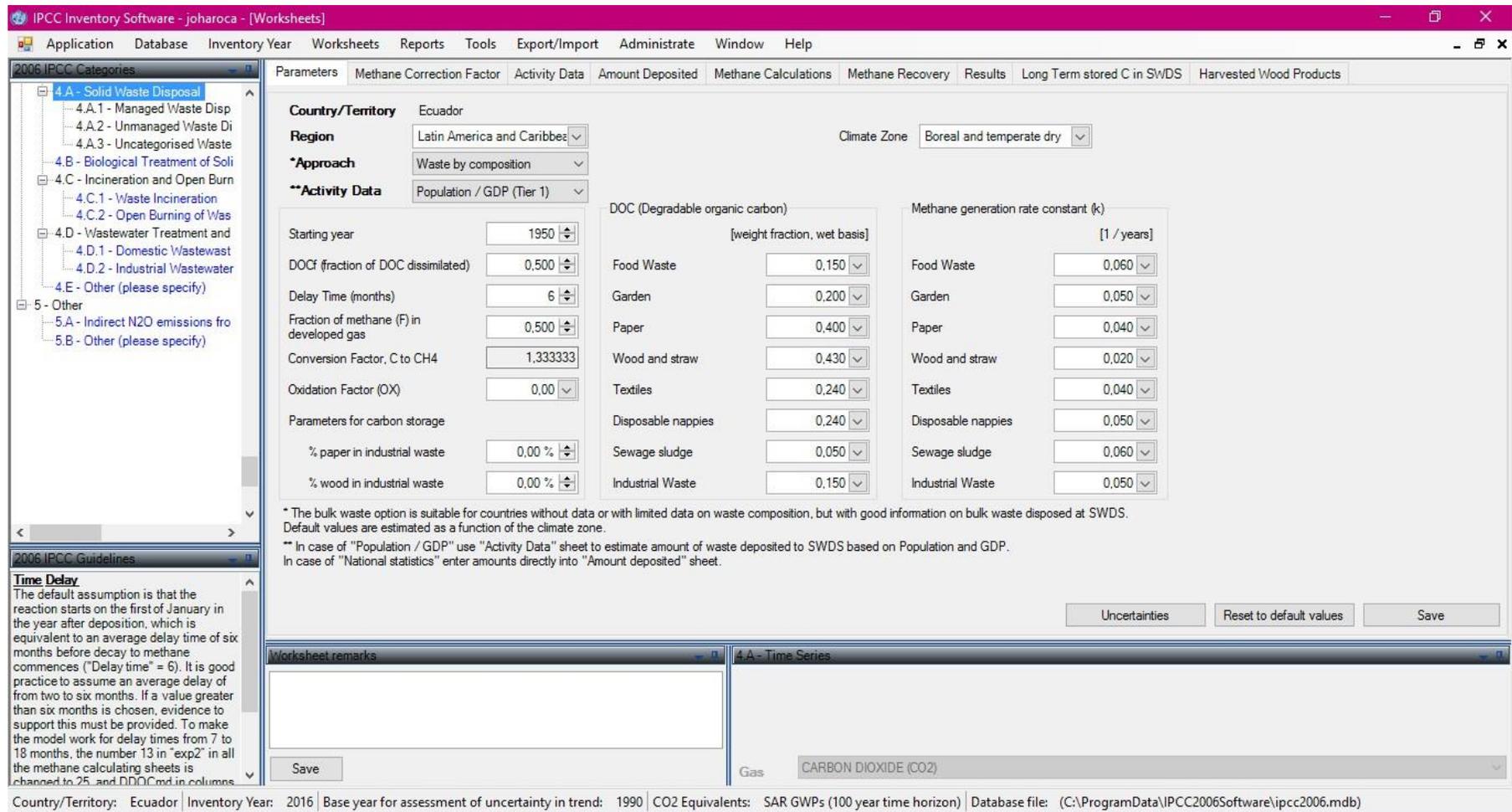
$$L_0 = \text{DDOCm} \cdot F \cdot 16/12$$

donde  $L_0$  es el potencial de generación de metano; DDOCm masa del carbono orgánico degradable -DDOC- disuelto depositado; F fracción del metano en el gas del vertedero generado y 16/12 es el cociente de pesos moleculares CH<sub>4</sub>/C<sub>11</sub>.

La entrada principal de este modelo es la cantidad de materia orgánica degradable (DOCm) contenida en los residuos y los diferentes tipos de este. Debido a esta característica es que fue escogido para la estimación de producción de biogás del Cantón.

A continuación, se muestra una interfaz del IPCC Inventory software que se utilizara para la estimación.

Figura 2. Interfaz del IPCC Inventory software.



Fuente: IPCC Inventory software.

### 3.5.2.3. Predicción de producción de metano mediante modelo de la EPA.

Para la aplicación del modelo de la EPA se utilizó la cantidad de desechos dispuestos, el número de años que ha estado o estuvo abierto el relleno, el número de años que el relleno ha estado cerrado, el potencial de los residuos dispuestos, para generar metano y la tasa de generación de metano de los residuos dispuestos.

El estimativo de metano generado según el modelo de caída de primer orden de disposición de residuos histórica (EPA) se expresa así:

Ecuación 8. Estimativo del metano.

$$Q = \sum_i \left[ \left( \frac{1}{100} \right) * K * L_0 * M_i * (e^{-kti}) \right]$$

$Q_t$  = tasa de generación de gas de vertedero en el momento ( $m^3/año$ )

$CH_4$  = metano contenido en el gas de vertedero (%)

$k$  = constante de generación de metano ( $1/año$ )

$L_0$  = potencial de generación de metano de los residuos ( $m^3/ton$ )

$M_i$  = tasa de aceptación de residuos (ton)

$t_i$  = tiempo estimado de producción (años)

### 3.5.3. Evaluación de diferentes usos energéticos para aprovechamiento del metano.

La viabilidad de diferentes usos del biogás generado en el vertedero se evaluó mediante un proceso que incluyó las siguientes fases:

- Revisión de literatura de las alternativas tecnológicas de aprovechamiento energético del metano, más utilizadas en el mundo.
- Estimación de la capacidad de generación de energía en función de cada uno de usos seleccionados.
- Análisis de la rentabilidad financiera de los potenciales usos del biogás a escala de proyecto energético.

### **3.6. Instrumentos de la investigación.**

Para la recopilación de datos e información necesaria para la elaboración del presente proyecto se utilizaron encuestas, libros de consulta y proyectos de investigación realizados con temas y propósitos a fines.

### **3.7. Tratamiento de los datos.**

Los datos estadísticos se analizaron con el empleo de programas estadísticos como: Minitab y Statgraphics en los que se realizó de forma paralela y con el objetivo de que fuera comprobatorio análisis de componentes principales y factoriales, para la obtención de los resultados posteriores se utilizaron hojas de Excel y el software del IPCC.

### **3.8. Recursos humanos y materiales.**

#### **3.8.1. Recursos humanos.**

Este proyecto se desarrolló con la colaboración del tutor el Ing. Julio Pazmiño.

#### **3.8.2. Materiales.**

##### **Campo**

- Guantes
- Botas
- Gps
- Balanza
- Romana
- Fundas
- Pala
- Mascarilla
- Cascos

##### **Oficina**

- Computadora
- Herramientas matemáticas y estadísticas (Excel, Minitab, Etc)

## **CAPÍTULO IV**

### **DISCUSIÓN Y RESULTADOS**

## **4.1. Resultados**

### **4.1.1. Evaluación de la gestión del vertedero municipal de desechos sólidos del cantón Ventanas.**

#### **4.1.1.1. Observación técnica de instalaciones y procesos.**

La observación técnica del vertedero se realizó el 25 de enero del 2017 en compañía del Dr. Javier Villalba técnico encargado de la gestión del mismo, quien estuvo presente en todo momento brindando guía e información sobre la operación del vertedero y todas las gestiones que se realizan en el que van desde la recolección hasta la disposición de los residuos, incluido la construcción y adecuación de una nueva celda, debido a la participación del cantón dentro del proyecto de mancomunidad en donde diferentes cantones están participando con el fin de crear un relleno sanitario que recepte los residuos producidos en toda la provincia y en ciertos cantones de diferentes provincias.

El vertedero del cantón Ventanas está ubicado en un terreno de 10 hectáreas en donde actualmente se encuentran 2 áreas de deposición de residuos y la celda emergente del proyecto de mancomunidad que aún no entra en funcionamiento. A unos pocos metros del área de ingreso se encuentra construida una estructura a modo de galpón que tiene como objetivo de uso posterior ser empleada como una planta de reciclados.

A continuación, se detallan cada uno de los procesos que se llevan a cabo para la recolección y disposición de los residuos

#### **4.1.1.1.1. Recolección.**

El municipio del cantón Ventanas cuenta en la actualidad con 7 carros recolectores los cuales hacen un recorrido diario de recolección tanto en la zona céntrica como en la periferia del cantón con siete frecuencias, cuatro de día y tres nocturnas poseyendo así un total de 12 rutas de recolección, la coordinación de las mismas está a cargo del Sr. Plinio Pilco Jefe de Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIDRS).



Fotografía 1. Carro recolector.

#### **4.1.1.1.2. Traslado.**

Seguido de la recolección y al culminar su ruta los carros recolectores se dirigen hacia el vertedero donde los desechos serán depositados para dar inicio a los siguientes procesos de forma in situ.

#### **4.1.1.1.3. Disposición.**

Dentro del vertedero el carro recolector procede a recorrer una distancia aproximada de 1.5 Km hasta llegar al sitio de disposición que está ubicado en una de las partes altas de la geografía del terreno.



Fotografía 2. Disposición de residuos.

#### **4.1.1.1.4. Selección de material reciclable.**

Seguido de la disposición de los desechos y cuando el carro recolector abandona el sitio referido, se procede a extraer de la mezcla heterogénea aquellos componentes que tengan aun valor útil o monetario, actividad que es realizada por chamberos o personal que el GAD identifica como gestores ambientales, en total son un numero de diez personas las que realizan esta actividad teniendo turnos de recolección por los días de la semana, para realizar esta actividad el personal debe poseer guantes, chalecos reflectivos y mascarillas.



**Fotografía 3.**Proceso de selección de material reciclable

#### **4.1.1.1.5. Compactación o apilado.**

El proceso es realizado de forma paralela a la selección de material reciclable, debido a que el tractor que se encarga de la compactación o apilamiento de los residuos sirve de ayuda a los chamberos en la rotación de los desechos y así obtener mayor cantidad de material de reciclado que se puede localizar en la parte media o inferior de la mezcla.



Fotografía 4. Compactación o apilado.

Adicionalmente del recorrido realizado dentro de las inmediaciones del vertedero se llevó a cabo el pesaje de los carros recolectores para así obtener valores actuales de la cantidad de desechos generados que sirvieron como dato fundamental en los siguientes procesos a desarrollar dentro del presente trabajo de investigación. A continuación, se detallan los valores:

**Tabla 3.** Pesaje de los desechos generados (kg)

<b>Fechas</b>	<b>Con carga</b>	<b>Sin carga</b>	<b>Desechos</b>
30-01-17	14260	10590	3670
31-01-17	15360	10350	5010
01-02-17	15270	10350	4920
04-02-17	13130	10310	2820

Fuente: datos de la investigación

Elaborado por: autora

#### **4.1.1.1. Entrevista con el personal administrativo.**

La entrevista realizada con la Ing. Doris Villafuerte directora del departamento de Higiene y Medio Ambiente del cantón se realizó a modo de charla donde se manifestaron ciertos detalles relacionados con el vertedero y su funcionamiento, como el hecho de que el cabildo está totalmente consiente de que sus actividades integrales no están debidamente enmarcadas en lo que manifiesta el Programa Nacional para la Gestión Integral de desechos Sólidos (PNGIDS), pero que están poniendo todo su esfuerzo en que la gestión de los mismos se realice lo mejor posible con el objetivo de brindar siempre un buen servicio a la ciudadanía. El vertedero cuenta con licenciamiento ambiental para su funcionamiento como Relleno Sanitario, la misma que le fue proporcionada desde el año 2012 periodo en el cual aún se encontraba ejerciendo funciones municipales el ex alcalde Carlos Carriél Abad.

La actual autoridad del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ventanas ha mostrado gran interés en mejorar la gestión que se le da a los desechos producidos en el cantón, por lo que ha ratificado su participación en el proyecto de mancomunidad Mundo Verde en donde el cantón tiene un importante protagonismo ya que en el futuro inmediato será el receptor de los residuos generados en los cantones más cercanos a sus instalaciones, motivo por el cual se construyó y se adecua en la actualidad una celda emergente que servirá para dar inicio al cierre técnico del vertedero en sus condiciones actuales. Con la participación en este proyecto se busca mejorar de forma íntegra la gestión de los desechos dentro y fuera del sitio de disposición final y a su vez brindar un mejor servicio a la ciudadanía.

#### **4.1.1.2. Evaluación de la percepción ciudadana.**

Se determinó para la aplicación de la encuesta una muestra de 150 personas de una población de 66551 con un nivel de confianza del 95% y un 8% de margen de error dicho valor se obtuvo mediante el empleo de calculadora estadística online Netquest [31].

##### **4.1.1.2.1. Aplicación de encuesta tipo Likert.**

Se evaluó la percepción de la población de Ventanas en relación con el manejo de los residuos sólidos en el vertedero actual, mediante la aplicación de una encuesta tipo Likert que consistió de 18 ítems o enunciados que se puso a consideración de las 150 personas encuestadas, quienes tuvieron que expresar una respuesta en el contexto de estar de acuerdo o desacuerdo con los ítems. La tabla general con las respuestas de los 150 individuos encuestados a los 18 ítems propuestos consta en el anexo 2.

En el análisis de los resultados de la encuesta, en primera instancia, los ítems discriminantes se intentaron determinar mediante el método de la correlación ítem test y de los grupos extremos. Sin embargo, dado que el coeficiente de correlación calculado para los ítems repartidos en grupos extremos no arrojó valores altos, se supuso la escasa confiabilidad de tal método en la búsqueda de los ítems discriminantes. En virtud de lo cual, posteriormente, se aplicó el análisis multivariante, pero solo a los ítems que obtuvieron los más altos valores de varianza los cuales fueron solo 11 de 18 propuestos (ver anexo 3).

El propósito del análisis es obtener un número reducido de combinaciones lineales de las 11 variables que expliquen la mayor variabilidad en los datos. En este caso, 4 componentes se han extraído puesto que 4 componentes tuvieron eigenvalores mayores o iguales que 1.0. En conjunto ellos explican 61.7758% de la variabilidad en los datos originales.

**Tabla 4.** Valores propios o Eigenvalores.

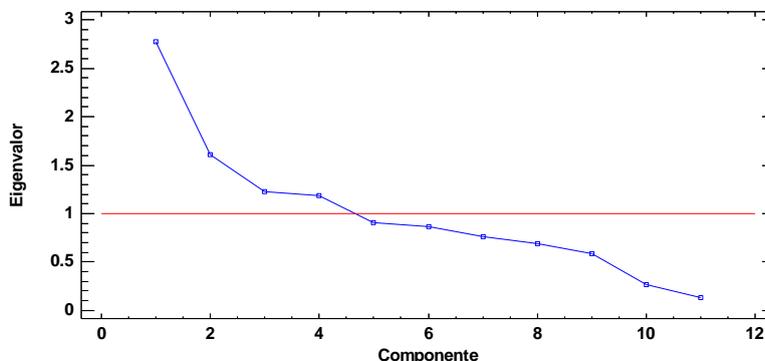
Componente número	Eigenvalor	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	2.77384	25.217	25.217
2	1.60773	14.616	39.832
3	1.22969	11.179	51.011
<b>4</b>	<b>1.18408</b>	<b>10.764</b>	<b>61.776</b>
5	0.907235	8.248	70.023
6	0.862406	7.840	77.863
7	0.760609	6.915	84.778
8	0.694407	6.313	91.091
9	0.589117	5.356	96.447
10	0.261138	2.374	98.820
11	0.129746	1.180	100.000

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

La tabla 4 muestra los pesos asignados a cada uno de los ítems en los cuatro componentes principales seleccionados, información que es útil en el análisis de los ítems más importantes en la explicación de la varianza.

La selección de los componentes principales de acuerdo con el criterio de valor propio mínimo queda claramente ilustrada en el grafico 1.

Grafico 1. Sedimentación



Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Tabla 5. Pesos

Ítems	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
A.1	-0.055082	0.134518	0.240672	-0.642194
A.2	0.215987	-0.207212	-0.140181	-0.38713
B.3	0.433026	-0.361229	-0.0332917	-0.117525
B.4	0.330262	0.134974	0.125231	-0.205508
B.5	0.24633	-0.337576	0.0232927	-0.102647
C.6	-0.10323	-0.116809	-0.677927	0.031685
C.7	0.444937	-0.290097	0.13197	0.0358334
D.8	0.0053276	0.475439	0.0279357	-0.407953
D.9	-0.46741	-0.375687	0.188715	-0.149209
D.10	-0.391382	-0.453279	0.242548	-0.174697
D.11	0.112904	0.076552	0.576948	0.386832

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Esta tabla muestra las ecuaciones de los componentes principales. Por ejemplo, el primer componente principal tiene la ecuación.

$$0.215987*A.2 + 0.433026*B.3 + 0.330262*B.4 + 0.24633*B.5 + 0.444937*C.7 + 0.0053276*D.8 + 0.112904*D.11 - 0.055082*A.1 - 0.10323*C.6 - 0.46741*D.9 - 0.391382*D.10$$

en donde los valores de las variables en la ecuación se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar.

Cada componente puede etiquetarse mediante una denominación que revele el tipo de información que las variables de mayor peso pueden explicar a través de la varianza. Así, el primer componente principal, cuyos mayores pesos caen sobre los ítems 7,3 y 4 puede denominarse como *condiciones de operación del vertedero*, el cual explica el 25% de la varianza relativa a la información proporcionada por los individuos. El segundo componente principal puede etiquetarse mediante la denominación *Tecnología de aprovechamiento de biogás*, donde los ítems 8,1 y 4 explicarían aproximadamente el 40% de la varianza acumulada.

Debido a que los ítems más discriminantes se seleccionan por el criterio de correlación, la información obtenida del número de componentes principales escogidos se utilizó para ejecutar un análisis factorial, extrayendo cuatro factores, los cuales establecen la relación entre los ítems de la encuesta.

La tabla 6 muestra las ecuaciones que estiman los factores comunes una vez que se ha realizado la rotación. La rotación se realizó para simplificar la explicación de los factores. También muestra las comunalidades estimadas, las cuales pueden interpretarse como estimadoras de la proporción de variabilidad en cada variable atribuible a los factores extraídos.

Tabla 6. Cargas rotadas y comunalidades

Ítems	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Varianza Específica
A.1	0.0384018	0.168072	0.0415903	0.752074	0.597068	0.402932
A.2	0.541089	-0.0327021	-0.235293	0.225485	0.400054	0.599946
B.3	0.841808	-0.175521	0.00639327	-0.0902327	0.747632	0.252368
B.4	0.352578	-0.398337	0.185213	0.289559	0.401133	0.598867
B.5	0.598599	0.0299854	0.0150562	-0.0722658	0.364669	0.635331
C.6	-0.063806	-0.00954979	-0.737086	-0.265274	0.617829	0.382171
C.7	0.756134	-0.228547	0.241091	-0.158978	0.707372	0.292628
D.8	-0.247808	-0.298959	-0.0295173	0.640202	0.561515	0.438485
D.9	-0.196444	0.927811	-0.0577361	0.0179263	0.903078	0.0969218
D.10	-0.0333864	0.928629	0.00100777	0.0153661	0.863703	0.136297
D.11	-0.0285432	-0.0917217	0.766598	-0.185446	0.63129	0.36871

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Como se observa en la tabla 6 no todos los ítems exhiben una comunalidad mayor a 0,70, por lo que fue necesario ejecutar una segunda extracción mediante el método Varimax, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Segunda rotación de las cargas y comunalidades

Ítems	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Comunalidad	Varianza Específica
B.3	-0.112747	0.92534	0.360701	-0.0304869	1.0	-4.44089E-16
C.7	-0.137443	0.367131	0.919541	-0.0277234	1.0	-2.22045E-16
D.9	0.904451	-0.170704	-0.163617	0.355045	1.0	-4.44089E-16
D.10	0.981843	-0.0442723	-0.0749499	-0.168542	1.0	1.11022E-16

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

La segunda extracción de factores cumplió con el criterio de la comunalidad. Como se observa en la tabla 7, el factor 1 establece la correlación entre los ítems D9 y D10, ambos relacionados con la gestión del biogás en el vertedero. Asimismo, en el segundo factor, aunque con menor intensidad, los ítems relacionados son el B3 y C7, los cuales hacen referencia a la prevención de problemas ambientales en el vertedero.

B3. El vertedero cuenta con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación.

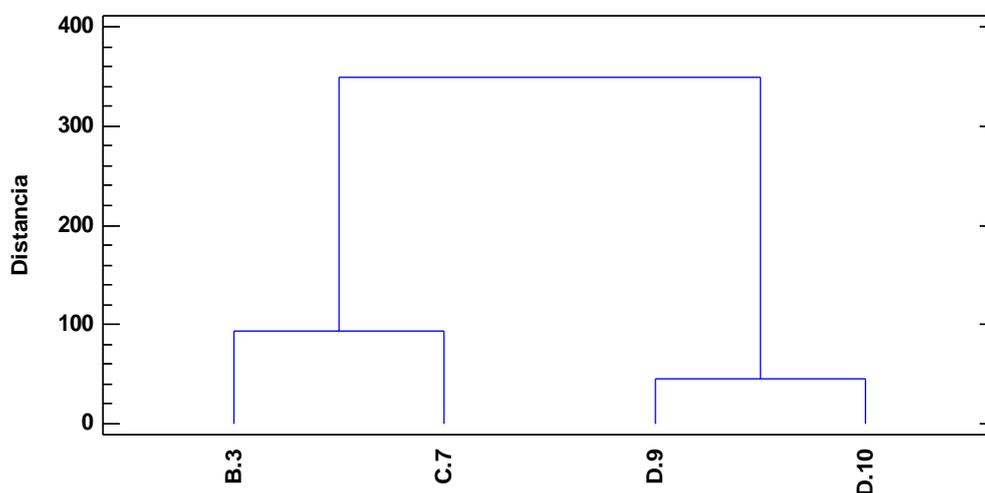
C7. El vertedero debe estar ubicado a una distancia mayor de 200 metros de la fuente de agua superficial más próxima.

D9. El gas generado en el vertedero solo debe ser extraído porque es explosivo.

D10. El gas extraído en el vertedero solo debe ser quemado, mas no aprovechado.

Finalmente, se realizó un análisis de conglomerados para visualizar la magnitud de la interrelación entre los ítems de la encuesta. Los clústeres conformados se muestran en el dendograma del grafico 2:

Grafico 2. Dendograma



Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

El análisis multivariante permitió determinar que los ítems más discriminantes son el D9, D10, B3 y B7.

## **Discusión.**

La percepción ciudadana recogida en el cantón Ventanas en relación con la gestión del vertedero de desechos sólidos de la referida localidad de la provincia de los Ríos, estableció que las personas encuestadas declararon respuestas uniformes con respecto a cuatro cuestiones específicas: el diseño óptimo del vertedero, su ubicación respecto de fuentes de agua, y la extracción del biogás, tanto para prevenir el peligro de explosión como simplemente para incinerarlo sin aprovechamiento posterior. Estos resultados revelan, en el contexto del aprovechamiento del metano producido en el vertedero para la generación de energía eléctrica, el cual fue el objetivo medular de la presente investigación, que la ciudadanía ventanense valora positivamente el biogás del vertedero como alternativa de generación energética, aunque no mostraron respuestas comunes, ya que con respecto a las demás opciones de manejo del biogás, declararon su desacuerdo homogéneo en gestionar el biogás solo para atender su su carácter peligroso y, en último de los casos, su combustión directa. En este sentido, en el año 2002 se realizó un estudio de percepción con formato con Likert en la comunidad Waterloo Region [32], en el sureste de la ciudad de Ontario, Canadá, el cual consistió en determinar la percepción de sus habitantes en relación con el grado de acuerdo en calificar como verdes a una serie de opciones de fuentes de energéticas, y además su punto de vista sobre el nivel de impacto ambiental asociado a cada una de ellas. Sus resultados determinaron que lo pobladores valoran con mejores puntajes a la fuente eólica, solar e hidroeléctricas, por encima de la opción del gas de vertedero, lo cual permite establecer que la actitud de los pobladores de Ventanas difiere básicamente porque en la zona no se encuentran desarrolladas las tecnologías de energía eólica y solar, y responde a una realidad en el Ecuador donde además de las fuentes hidroeléctricas, la valoración del biogás como fuente viable de generación de energía eléctrica, puede diferir de otras partes del mundo.

## 4.1.2. Estimación de la producción de metano en el vertedero del Cantón.

### 4.1.2.1. Caracterización de residuos.

Mediante el método de cuarteo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-015 [27]. Se realizó la caracterización de los residuos que llegan al vertedero de Ventanas, la cual identifico ocho tipos de residuos sólidos, los cuales se presentan en porcentaje en la tabla 8, la cual, a modo comparativo, también muestra la composición proporcionada por la plataforma Vdatos del INEC 2015 referente a la provincia de los Ríos:

Tabla 8. Composición porcentual

Composición cantonal									
Residuos	Materia orgánica	Vidrio	Papel	Textil	Plástico	Cartón	Metal	Madera	Pañales
Composición %	35%	4%	8%	12%	24%	4%	2%	2%	8%
Composición provincial									
Residuos	Materia orgánica	Cartón	Papel	Plástico	Vidrio	Madera	Metal	Chatarra	Pilas
Composición %	60%	3.5%	6.8%	12.0%	3.7%	0.3%	1.2%	1.5%	0.1%
	Pañales	Otros							
	1.6%	9.0%							

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Con base en información histórica sobre generación de residuos proporcionada por el Gobierno Municipal de Ventanas, se estimó una proyección hasta el año 2018, la cual permitió calcular la producción per cápita para cada uno de los años considerados

Tabla 9. Producción Per Cápita anual

Año	Población	Generación (tn)	PPC
2010	69.032	1.773	25.68
2011	69.737	4.719	67.67
2012	70.425	7.665	108.84
2013	71.093	10.611	149.26
2014	71.739	13.557	188.98
2015	72.363	16.503	228
2016	72.964	20.040	274.7
2017	73.544	22.394	304.5
2018	74.100	25.340	342

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

#### 4.1.2.2. Predicción de producción de metano mediante estequiometria.

La tabla 10 contiene información relativa a la composición elemental de los diferentes componentes o tipos de residuos identificados en el vertedero del cantón Ventanas, tomando como referencia los datos de la investigación de Cruzatty [33] y de Tchobanoglous [34].

**Tabla 10.** Composición elemental de los residuos en el vertedero de Ventanas

Componente	Peso húmedo (%)	Peso seco (%)	C	H	O	N	S	Humedad
Residuos de Alimentos	31.52	13.36	72.22	2.67	23.73	1	0.38	70.00
Residuos de Jardín	5.43	3.07	53.28	2.67	42.84	0.83	0.38	60.00
Papel – Cartón	13.04	17.33	66.528	2.08	30.142	1.06	0.19	6.00
Plástico	26.09	36.13	45.87	3.5	49.21	1.18	0.24	2.00
Madera	2.17	2.46	60.09	1.23	38.37	0.08	0.23	20.00
Textil	13.04	16.59	49.59	6.61	41.32	2.27	0.21	10.00
Pañales	8.70	11.06	56.86	10.39	31.84	0.91	0.00	10.00
<b>Total</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>55.38</b>	<b>4.34</b>	<b>38.81</b>	<b>1.25</b>	<b>0.22</b>	<b>29.24</b>

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Como se observa en la tabla precedente, la composición elemental de la mezcla heterogénea de los residuos sólidos dispuestos en el vertedero de Ventanas se caracteriza por la siguiente información elemental.

Tabla 11. Composición elemental

Residuo	C	H	O	N	S	Total	Cantidad RSU	Humedad (%)	F. org. (%)
RSU	55.38	4.34	38.81	1.25	0.22	100.00	46	29.24	55.00

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

A continuación, se detalla el procedimiento desarrollado en la aplicación del método estequiométrico para la predicción de la producción de metano en las actuales condiciones del vertedero:

**Tabla 12.** Predicción estequiométrica de producción de biogás

Peso de cada elemento							
1	Elemento	C	H	O	N	S	TOTAL
	Peso (kg)	25.47	2.00	17.85	0.58	0.10	46
Cantidad de sustancia de cada elemento (Kmol)							
2	Elemento	C	H	O	N	S	
	# Moles	2.121	1.981	1.116	0.041	0.0032	
Subíndices estequiométricos							
3	Elemento	C	H	O	N	S	
	Subíndice	663	619	349	13	1	
Ecuación estequiométrica							
4	Compuesto	CHON	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
	Coefficiente molar	1	344.000	346.500	316.500	13.000	1.000
Masa de reactivos y productos							
5	Compuesto	CHON	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
	M(g/mol)	14385.051	18.015	44.009	16.043	17.031	34.080
	Compuesto	CHON	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
	M(g)	14385.05	6197.16	15249.12	5077.61	221.40	34.08
Cantidad de materia orgánica biodegradable							
6	M.O. (kg)			18			
Peso de los productos							
7	Compuesto	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TOTAL	
	Peso (kg)	18.98	6.32	0.28	0.04	25.62	
Volumen de los productos							
8	Compuesto	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TOTAL	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	9.66	8.83	0.37	0.03	19	

Composición porcentual del biogás						
9	Compuesto	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TOTAL
	Porcentaje	51.14	46.74	1.96	0.16	100.00
Producción por unidad de masa						
10	Compuesto	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	TOTAL
	Volumen (m <sup>3</sup> )	0.21	0.19	0.01	0.00	0.41

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

El método estequiométrico revela que el biogás que se genera en el vertedero de Ventanas se compone de aproximadamente 47% de metano. Además, se generan 0,19 m<sup>3</sup> de metano por cada kg de residuo dispuesto.

### 4.1.2.3. Predicción de producción de metano con el software IPCC.

La aplicación del software *IPCC Inventory* avalado por Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático se muestra, a continuación de manera secuencial, mediante capturas de imágenes de las diferentes hojas de trabajo del programa.

En las siguientes hojas de trabajo a detallar se evidencia el proceso que se siguió hasta llegar al resultado final que el software brinda y es la producción de metano correspondiente a la información introducida como composición porcentual de los desechos, disposición de los desechos con manejo o sin manejo, degradación anaerobia o semi-anaerobia, población y producción per cápita y el software automáticamente procesa la información y nos da los resultados en gigagramos.

**Tabla 13.** Producción de metano mediante IPCC

<b>Año</b>	<b>CH4 (Gg)</b>	<b>CH4 (kg)</b>	<b>CH4 (m<sup>3</sup>)</b>
2015	0.47856	478560	668259
2016	0.90978	909780	1270413
2017	1.25641	1256410	1754446
2018	1.57206	1572060	2195218

Fuente: datos de la investigación

Elaborado por: autora

Figura 3. Parámetros

Parameters	Methane Correction Factor	Activity Data	Amount Deposited	Methane Calculations	Methane Recovery	Results	Long Term stored C in SWDS	Harvested Wood Products
<b>Country/Territory</b>	Ecuador							
<b>Region</b>	Latin America and Caribbes		Climate Zone: Tropical wet					
<b>*Approach</b>	Waste by composition							
<b>**Activity Data</b>	Population / GDP (Tier 1)							
Starting year	2015		<b>DOC (Degradable organic carbon)</b>			<b>Methane generation rate constant (k)</b>		
DOCf (fraction of DOC dissimilated)	0.900		[weight fraction, wet basis]			[1 / years]		
Delay Time (months)	6		Food Waste	0.200		Food Waste	0.600	
Fraction of methane (F) in developed gas	0.500		Garden	0.200		Garden	0.200	
Conversion Factor, C to CH4	1.333333		Paper	0.400		Paper	0.080	
Oxidation Factor (OX)	0.00		Wood and straw	0.430		Wood and straw	0.045	
<b>Parameters for carbon storage</b>			Textiles	0.240		Textiles	0.070	
% paper in industrial waste	0.00 %		Disposable nappies	0.240		Disposable nappies	0.050	
% wood in industrial waste	0.00 %		Sewage sludge	0.050		Sewage sludge	0.400	
			Industrial Waste	0.150		Industrial Waste	0.170	
<p>* The bulk waste option is suitable for countries without data or with limited data on waste composition, but with good information on bulk waste disposed at SWDS. Default values are estimated as a function of the climate zone.</p> <p>** In case of "Population / GDP" use "Activity Data" sheet to estimate amount of waste deposited to SWDS based on Population and GDP. In case of "National statistics" enter amounts directly into "Amount deposited" sheet.</p>								
			Uncertainties			Reset to default values		Save

Parámetros a configurar como el año de inicio de la predicción, región, país y el clima del lugar. Los demás valores están definidos de forma predeterminada.

Figura 4. datos de disposición

Parameters Methane Correction Factor Activity Data Amount Deposited Methane Calculations Methane Recovery Results Long Term stored C in SWDS Harvested Wood Products

Worksheet  
**Sector:** Waste 2015  
**Category:** Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites  
**Subcategory:** 4.A - Solid Waste Disposal  
**Sheet:** Methane Correction Factor

Data  
**Waste Composition Type:** Municipal Solid Waste

Municipal Solid Waste							
	Unmanaged – shallow	Unmanaged – deep	Managed – anaerobic	Managed – semi-aerobic	Uncategorised SWDS	Distribution Check	Weighted MCF
<b>MCF</b>			1				
<b>Fixed distribution</b>							
<b>Year distribution</b>	%	%	%	%	%	Total	
2015			100			100	1
2016			100			100	1
2017			100			100	1
2018			100			100	1

This worksheet allows Ctrl+C/Ctrl+V to copy/paste data. Only editable cells can be overwritten when pasting.

Worksheet remarks 4.A - Time Series

La disposición de los desechos se la realiza al 100 % con gestionado anaerobio porque es el método mediante el cual se produce más biogás.

Figura 5. Población

Parameters Methane Correction Factor **Activity Data** Amount Deposited Methane Calculations Methane Recovery Results Long Term stored C in SWDS Harvested Wood Products

Worksheet

**Sector:** Waste 2015

**Category:** Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites

**Subcategory:** 4.A - Solid Waste Disposal

**Sheet:** Industrial and MSW Activity Data

Data

**Waste Composition Type** Municipal Solid Waste

Year	Population [millions]	Waste per capita [kg/cap/yr]	Total MSW [Gg]	% to SWDS [%]	Total to SWDS [Gg]	Composition of waste going to solid waste disposal sites.							Total [=100 %]
						Food [%]	Garden [%]	Paper [%]	Wood [%]	Textile [%]	Nappies [%]	Plastics, other inert [%]	
▶ IPCC Regional Defaults			0		0								0
2015	0.07236	228	16.49876	100	16.49876	50	10	10.3	0.3	10	1.6	17.8	100
2016	0.07296	274.7	20.04321	100	20.04321	50	10	10.3	0.3	10	1.6	17.8	100
2017	0.07354	304.5	22.39415	100	22.39415	50	10	10.3	0.3	10	1.6	17.8	100
2018	0.0741	342	25.3422	100	25.3422	50	10	10.3	0.3	10	1.6	17.8	100

This worksheet allows Ctrl+C/Ctrl+V to copy/paste data. Only editable cells can be overwritten when pasting.

En esta hoja de trabajo se procede a ingresar datos relativos a la población, la producción de Per Cápita y la composición porcentual de los desechos y el software se encarga de calcular la cantidad de residuos generados.

**Figura 6.** Cantidad de desechos generados por tipo

Parameters Methane Correction Factor Activity Data **Amount Deposited** Methane Calculations Methane Recovery Results Long Term stored C in SWDS Harvested Wood Products

Worksheet

**Sector:** Waste 2015

**Category:** Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites

**Subcategory:** 4.A - Solid Waste Disposal

**Sheet:** Amount Deposited

Data

Amount deposited in SWDS (Gg)											
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Deposited MSW	Sludge	Inert	Industrial	
2015	8.24938	1.64988	1.69937	0.0495	1.64988	0.26398	16.49876		2.93678		
2016	10.02161	2.00432	2.06445	0.06013	2.00432	0.32069	20.04321		3.56769		
2017	11.19707	2.23941	2.3066	0.06718	2.23941	0.35831	22.39415		3.98616		
2018	12.6711	2.53422	2.61025	0.07603	2.53422	0.40548	25.3422		4.51091		

This worksheet allows Ctrl+C/Ctrl+V to copy/paste data. Only editable cells can be overwritten when pasting.

Worksheet remarks | 4.A - Time Series

Esta hoja realiza un estimativo de disposición por tipo de producto, al final el software muestra de forma automática un valor total de disposición.

**Figura 7.** Hoja de cálculo de metano generado

Category: Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites  
 Subcategory: 4.A - Solid Waste Disposal  
 Sheet: Methane Calculations

Data  
 Waste Type: Paper/cardboard

DOC: 0.4    DOCf: 0.9    k: 0.08    Half-life time (h=ln(2)/k): 8.664339756

exp1=exp(-k): 0.923116346    Month when the reaction is set to start (M): 1    exp2=exp(-k\*((13-M)/12)): 0.923116346    CH4 Fraction: 0.5

Year	Amount deposited	MCF	Decomposable DOC (DDOCm) deposited	DDOCm not reacted. Deposition year	DDOCm decomposed. Deposition year	DDOCm accumulated in SWDS end of year	DDOCm decomposed	CH4 generated
	W	MCF	$D = W * DOC * DOCf * MCF$	$B = D * exp2$	$C = D * (1-exp2)$	$H = B + (H(y-1) * exp1)$	$E = C + H(y-1) * (1-exp1)$	$Q = E * 16/12 * F$
	Gg	fraction	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
2015	1.69937	1	0.61177	0.56474	0.04704	0.56474	0.04704	0.03136
2016	2.06445	1	0.7432	0.68606	0.05714	1.20738	0.10056	0.06704
2017	2.3066	1	0.83038	0.76653	0.06384	1.88109	0.15667	0.10445
2018	2.61025	1	0.93969	0.86744	0.07225	2.6039	0.21687	0.14458

Muestra el cálculo que realiza por tipo de residuo depositado y predice la cantidad de metano que produce cada uno de los tipos de residuos que componen la mezcla total de desechos.

Figura 8. valor de generación

Parameters							Methane Correction Factor		Activity Data		Amount Deposited		Methane Calculations		Methane Recovery		Results		Long Term stored C in SWDS		Harvested Wood Products	
Worksheet																						
<b>Sector:</b> Waste																				2015		
<b>Category:</b> Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites																						
<b>Subcategory:</b> 4.A - Solid Waste Disposal																						
<b>Sheet:</b> Methane Recovery and methane oxidised in top layer (OX)																						
Data																						
Year	Total methane generated	Amount of Methane Recovered from SWDS	Fraction recovered methane	Methane oxidised (OX)																		
	Gg	Gg		fraction																		
▶ 2015	0.47856	0	0	0																		
▶ 2016	0.90978	0	0	0																		
▶ 2017	1.25641	0	0	0																		
▶ 2018	1.57206	0	0	0																		

This worksheet allows Ctrl+C/Ctrl+V to copy/paste data. Only editable cells can be overwritten when pasting.

Worksheet remarks | 4.A - Time Series

Muestra un valor anual de la generación de metano.

**Figura 9. Metano generado por tipo de residuo**

Methane generated											
Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	Industrial	Total	Methane recovery	Methane Emissions
	A (Gg)	B (Gg)	C (Gg)	D (Gg)	E (Gg)	F (Gg)	G (Gg)	H (Gg)	I (Gg)	J (Gg)	M = (I-J) * (1-OX) (Gg)
2015	0.44664	0	0.03136	0.00056	0	0	0	0	0.47856	0	0.47856
2016	0.78772	0.03589	0.06704	0.00122	0.01606	0.00185	0	0	0.90978	0	0.90978
2017	1.03855	0.07298	0.10445	0.00193	0.03449	0.00402	0	0	1.25641	0	1.25641
2018	1.25601	0.10846	0.14458	0.00271	0.05396	0.00634	0	0	1.57206	0	1.57206

Muestra una tabla recopilatorio por tipo de residuo y el metano generado por cada tipo de residuo, al final el software calcula de manera global el metano generado por año en gigagramos.

#### 4.1.2.4. Predicción de producción de metano con el modelo de la EPA.

La producción de metano mediante el modelo de la EPA consistió en la aplicación de la ecuación de reacción de primer orden indicada en la parte pertinente de la metodología, utilizando como valores paramétricos  $K= 0,085$  y  $L_0 = 84$ . Los resultados de la predicción de producción de metano se muestran en la tabla 14:

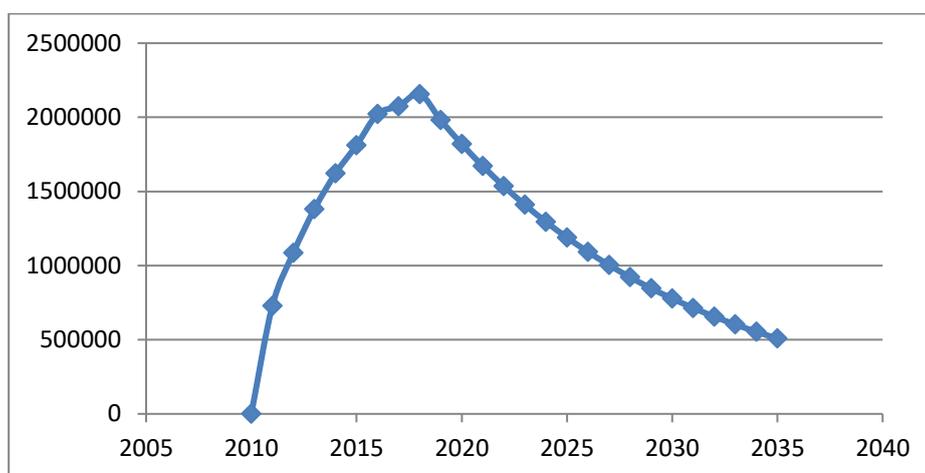
Tabla 14. Producción de metano

Año	Generación (Tn)	Producción de metano m <sup>3</sup> /año	Producción de metano m <sup>3</sup> /d
2010	1773	0	0
2011	4719	728189	1995
2012	7665	1086404	2976
2013	10611	1381403	3785
2014	13557	1621111	4441
2015	16503	1812579	4966
2016	20040	2021700	5539
2017	22394	2075084	5685
2018	25340	2156729	5909
2019	25340	1980982	5427
2020	25340	1819557	4985
2021	25340	1671285	4579
2022	25340	1535096	4206
2023	25340	1410004	3863
2024	25340	1295106	3548
2025	25340	1189571	3259
2026	25340	1092636	2994
2027	25340	1003599	2750
2028	25340	921818	2526
2029	25340	846701	2320
2030	25340	777706	2131
2031	25340	714332	1957
2032	25340	656123	1798
2033	25340	602657	1651
2034	25340	553548	1517
2035	25340	508440	1393

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

La predicción de producción de metano obtenida mediante el modelo de la EPA muestra que desde el año de apertura hasta el año de clausura tentativo (2018), las emisiones del referido gas ascenderían hasta casi 5909 m<sup>3</sup>/d o más de 2 millones de metros cúbicos anuales. Más allá del año de clausura, la producción declina debido a que ya no habría disposición de residuos en el vertedero, bajando hasta niveles de producción casi 1400 m<sup>3</sup>/d, hacia el año 2035. Los resultados de la tabla describen el perfil mostrado en el gráfico 3.

**Gráfico 3.** Producción de metano según el modelo EPA



Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

#### 4.1.2.5. Análisis comparativo de los tres métodos.

En la tabla 15 se muestran valores correspondientes a la producción de metano entre los años 2015-2018 obtenidos de la aplicación de los tres métodos ya explicados, evidenciando que el método estequiométrico demuestra una mayor tasa de producción de metano, debido a que considera la mezcla heterogénea de los desechos en condiciones completamente ideales.

**Tabla 15.** resumen comparativo de producción de metano (m<sup>3</sup>/año)

Año	Estequiométrico	IPCC Inventory Software	Modelo de la EPA
2015	3167858	668259	1812579
2016	3846809	1270413	2021700
2017	4298674	1754446	2075084
2018	4864178	2195218	2156729

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

## **Discusión**

La evaluación de la producción de metano del relleno sanitario del cantón Ventanas se realizó con tres métodos diferentes, cuya comparación demostró que el método estequiométrico predijo un volumen mayor de biogás con respecto al IPCC Inventory software y el modelo de la EPA, según Bethancourth, argumenta que la diferencia entre los dos primeros métodos, se deben a la falta de diseño específico del modelo IPCC, que utiliza la caracterización de residuos de toda Suramérica lo cual por condiciones culturales presenta un sesgo en cuanto a características físicas de los residuos y las condiciones en las cuales estas son llevadas a los rellenos sanitarios [35]. Por otra parte, Aguilar, concluye que la variación del modelo de la EPA con respecto al estequiométrico se debe a que el primero provee automáticamente valores para el índice de generación de metano y el potencial de generación del metano [36].

### **4.1.3. Evaluación de diferentes usos energéticos para aprovechamiento del metano.**

Para la evaluación de usos del metano se realizó una revisión literaria como punto de partida, mediante la cual se pudo observar y analizar que en los vertederos de residuos sólidos el método de aprovechamiento del biogás es primordialmente la generación de energía eléctrica debido a que es mucho más beneficioso y rentable. Por lo tanto, la evaluación para aprovechamiento se hizo en el supuesto de que se emplee una planta generadora de energía eléctrica, utilizando como tecnología de aprovechamiento generadores de combustión interna.

#### **4.1.3.1. Inversión inicial del proyecto.**

La inversión inicial se detalla a continuación con cada uno de sus componentes, el estudio económico realizado carece de un valor considerado para infraestructura debido, a que el vertedero de desechos sólidos de Ventanas ya cuenta con una estructura que puede ser utilizada para la instalación de los equipos necesarios.

##### **4.1.3.1.1. Costos de extracción del biogás.**

El proyecto requiere de la instalación de un sistema de extracción del biogás en el vertedero, cuyos componentes y costos se toman de referencia proporcionada por un estudio de la Universidad de Chile [37]. Los componentes y sus costos se presentan a continuación.

Tabla 16. Costos de extracción

Componentes	Costo unitario (USD)	Unidad	Cantidad	Costo total (USD)
Gestión y transporte de materiales	\$21.030,50	[\$]	1	\$21.030,50
Excavación	\$4.431,43	[\$/POZO]	15	\$66.471,45
Pozos de extracción vertical	\$300,44	[\$/M]	75	\$22.533,00
Trincheras horizontales	\$157,73	[\$/M]	310	\$48.896,30
Cabezales de pozo	\$751,09	[\$/POZO]	15	\$11.266,35
Ductos laterales	\$45,07	[\$/M]	260	\$11.718,20
Ductos intermedios o principales	\$112,66	[\$/M]	155	\$17.462,30
Sopladores 500 [m3/h] a 1.000 [m3/h]	\$45,07	[\$/(M3/H)]	200	\$9.014,00
Trampas de condensado	\$9.013,07	[\$/UNIDAD]	1	\$9.013,07
Cárcamos de condensado con bombeo	\$25.236,60	[\$/UNIDAD]	1	\$25.236,60
Ingeniería y administración	\$754,04	[\$/POZO]	15	\$11.310,60
Antorchas de llama abierta de 30 a 1500 [m3/h] (opcional)	\$34,69	[\$/UNIDAD]	15	\$520,29
			Total	\$254.472,66

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

#### 4.1.3.1.2. Costos de generación eléctrica.

En la tabla 17 se presentan todos los costos de la generación de la energía eléctrica expresando valores totales aproximados, los valores referenciales fueron tomados del estudio anteriormente mencionado.

Tabla 17. Costos de generación de energía

Componentes	Costo unitario (USD)	Unidad	Cantidad	Costo total (USD)
Generadores de 100 KW	\$66,000.00	[\$]	5	\$330.000
Motor de combustión interna	\$1.41	[\$/KW]	450	\$635.40
Subestación eléctrica	\$321.22	[\$]	1	\$321.22
Sistema de tratamiento de biogás	\$15,000.00	[\$]	1	\$15.000
Interconexión eléctrica	\$585.14	[\$/KM]	5	\$2.925,68
			Total	\$348.882,30

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

#### 4.1.3.1.3. costos de operación y mantenimiento.

La tabla 18 a continuación detalla valores que serán usados posteriormente para el análisis de rentabilidad económica, los valores referenciales se tomaron del estudio de la Universidad de Chile citado líneas arriba.

Tabla 18. Costos de operación y mantenimiento

Costos de operación	Valor	Descripción
Seguro	\$10.000	USD/año
Sistema de mantenimiento de gas	5%	% anual del costo inicial
Costos misceláneos	\$2	USD por hora operada
Inflación anual	0.96%	% inflación anual
Mano de obra	\$78.000	USD/año

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

#### 4.1.3.2. Ingresos.

La tabla 19 presenta valores monetarios que el municipio percibiría por venta de kilovatio, dichos valores fueron calculados por la producción del vertedero basándose en la cantidad de metano  $m^3/h$  que produzcan los desechos, por el potencial energético del metano que es aproximadamente  $5 \text{ kWh}/m^3$  y por la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna que es aproximadamente 38%. El método de cálculo se obtuvo de forma referencial del estudio realizado en la Universidad de Cuenca para el relleno sanitario Huascachaca de similares características geográficas y demográficas [26].

Ecuación 9. Potencia

$$potencia = CH_4 * \frac{5kWh}{m^3} * 0.38$$

Para el cálculo de la energía kWh se usó el valor de potencia instalada que sería 450, por las horas anuales y por 0.85 que es el factor de planta de la central:

Ecuación 10. Energía Anual

$$produccion\ energetica\ anual = Potencia\ kw * (8760 * 0.85) * 0.85$$

Y posteriormente para el cálculo del ingreso económico se utilizó la energía kW/h por el precio actual del kilovatio/hora [38].

Ecuación 11. Calculo de ingreso económico

$$ingreso = Energia \frac{kW}{h} * 0.1023ctvs$$

Tabla 19. Ingresos

Año	Potencia (kW)	Energía (kW.h)	Ingreso por venta (USD)
2017	450	2848571.94	\$291.408,91
2018	468	2960650.19	\$302.874,51
2019	430	2719393.57	\$278.193,96
2020	395	2497796.40	\$255.524,57
2021	362	2294256.68	\$234.702,46
2022	333	2107302.94	\$215.577,09
2023	306	1935583.64	\$198.010,21
2024	281	1777857.35	\$181.874,81
2025	258	1632983.81	\$167.054,24
2026	237	1499915.69	\$153.441,38
2027	218	1377690.99	\$140.937,79
2028	200	1265426.10	\$129.453,09
2029	184	1162309.42	\$118.904,25
2030	169	1067595.48	\$109.215,02

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Se tomó como año de inicio el 2017 debido a que la fecha de realización de este proyecto comprendió el año 2016.

### 4.1.3.3. Rentabilidad económica.

En el presente caso se utilizan métodos que toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo tales como: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de Recuperación del Capital Descontado (PRCD). La rentabilidad económica permitió saber que el proyecto es rentable y que tiene un tiempo de recuperación de inversión de cuatro años y tres meses, pasado este periodo todo lo generado es considerado rentabilidad económica por lo tanto y en términos económicos es un proyecto viable, los valores se presentan en la tabla 20 a continuación.

**Tabla 20.** Rentabilidad

TIR	12.22%
VAN	\$44,167.72
Tasa de descuento	10%
Periodo de recuperación de capital descontado	4 años y 3 meses

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

### Discusión.

El análisis de rentabilidad demostró que el proyecto es viable. A pesar de tener una inversión alta se estima que el plazo de recuperación del capital es 53 meses, cuyo calificativo es un proyecto de recuperación media, brindando un lapso de goce económico de 5 años, con una tasa de interés de retorno de 12.22% y un valor actual neto de 44.167,7. de acuerdo al argumento propuesto por Lalvay en su investigación sobre el estudio técnico y económico de una planta de generación de energía eléctrica se acepta el proyecto debido a que el periodo de recuperación del capital es el periodo recuperación recomendado [26].

Tabla 21. Flujo de Caja

Periodo	2017 31-12-17	2018 31-12-18	2019 31-12-19	2020 31-12-20	2021 31-12-21	2022 31-12-22	2023 31-12-23	2024 31-12-24	2025 31-12-25	2026 31-12-26	2027 31-12-27	2028 31-12-28
Ingresos												
Venta de energía		302874.5143	278193.962	255524.572	234702.458	215577.091	198010.2061	181874.807	167054.244	153441.375	140937.788	129453.09
Total de ingresos		\$302,874.51	\$278,193.96	\$255,524.57	\$234,702.46	\$215,577.09	\$198,010.21	\$181,874.81	\$167,054.24	\$153,441.38	\$140,937.79	\$129,453.09
Costos												
Sistema de mantenimiento del gas (5% de la inversión inicial)		\$12,723.63	\$12,845.78	\$12,965.25	\$13,085.82	\$13,207.52	\$13,330.35	\$13,454.32	\$13,579.45	\$13,705.74	\$13,833.20	\$13,961.85
Seguro		\$10,000.00	\$10,096.00	\$10,192.92	\$10,290.77	\$10,389.57	\$10,489.30	\$10,590.00	\$10,691.67	\$10,794.31	\$10,897.93	\$11,002.55
Costos misceláneos \$2 por hora operada		\$15,024.00	\$15,168.23	\$15,313.85	\$15,460.86	\$15,609.28	\$15,759.13	\$15,910.42	\$16,063.16	\$16,217.37	\$16,373.05	\$16,530.23
Mano de obra		\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00	\$78,000.00
Total de costos		\$115,748	\$116,110	\$116,472	\$116,837	\$117,206	\$117,579	\$117,955	\$118,334	\$118,717	\$119,104	\$119,495
Inversiones												
Sistemas de extracción del biogás	\$254,472.66											
Sistema de generación de energía eléctrica	\$348,882.30											
Imprevistos (5%)	\$30,167.75											
Total de inversiones	\$633,522.71											
Flujo de caja	\$633,522.71	\$187,126.88	\$162,083.95	\$139,052.56	\$117,865.00	\$98,370.72	\$80,431.42	\$63,920.06	\$48,719.97	\$34,723.97	\$21,833.60	\$9,958.46

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

La evaluación de la percepción ciudadana determinó que los habitantes del cantón Ventanas muestran una actitud positiva hacia la importancia de contar con un vertedero adecuadamente diseñado y ubicado a fin de prevenir problemas de contaminación. Asimismo, las personas encuestadas mostraron su desacuerdo común en relación con la gestión del biogás que se limita solo a su extracción con fines de prevención de riesgos de explosión, y de combustión directa. Por lo que, dada la puntuación relativamente alta del ítem relacionado con el aprovechamiento del biogás, se puede establecer una actitud positiva de los habitantes de Ventanas en el contexto de su aprovechamiento para generación de energía eléctrica.

La estimación de producción de metano estableció que el método estequiométrico predice un volumen mayor de biogás, con una tasa de  $0,19 \text{ m}^3$  por cada kg de residuos depositado, en condiciones teóricas ideales. Comparativamente, el IPCC Inventory Software y el modelo de la EPA arrojaron tasas equivalentes al 35% y 50% de las condiciones ideales, respectivamente.

El análisis de rentabilidad demostró que el proyecto es viable, ya que, aunque se requiere una inversión alta, el periodo de recuperación es de 4 años y 5 meses, constituyendo un proyecto de recuperación media, con una tasa de interés de retorno obtenida 12,22% y con un valor actual neto de 44 167,72.

## **5.2. Recomendaciones**

Mayor difusión a los programas que el municipio realice para la gestión integral de los residuos ya que la razón principal de los problemas que se enfrentan en la inadecuada gestión de los desechos es el desconocimiento de la ciudadanía, realizar programas de concientización ambiental en escuelas y colegios para que así los programas de mejoramiento tengan eco y puedan desarrollar una mejora en el sistema de gestión de los desechos.

Fomentar el aprovechamiento del biogás en rellenos sanitarios, como un aporte a la mitigación del cambio climático, para lo cual se deben desarrollar los estudios técnicos que permitan establecer las condiciones para su aprovechamiento.

El GAD municipal debería implementar microproyectos de capacitación ciudadana para el aprovechamiento de residuos como fuentes de energía, debido a que las actividades económicas del cantón giran mayoritariamente al sector ganadero y agrícola, así la ciudadanía tendría el conocimiento para hacer uso de forma local energía limpia para sus procesos de producción.

Implementar programas de separación de desechos aprovechables y no aprovechables a pequeña y gran escala para que así no pasen desapercibidos las cualidades de generación de subproductos que poseen ciertos desechos sólidos.

## **CAPÍTULO VI**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- 1 Rodríguez G, Sauti R, Peniche A. Aerotransportables viables en el area de tratamiento y disposicion final de residuos solidos municipales de Merida. Yucatán : Ingenieria Revista Academica ; 2005.
- 2 Hincapie I, Estévez S, Giraldo E. Análisis y compotamiento de compuestos organicos volátiles en las emisiones de biogás proveniente del relleno sanitario de Doña Juana.. 2001.
- 3 Gobierno-Autonomo-Decentralizado-del-Canton-Ventanas. Plan deDesarrollo y Ordenamiento Territorial. Ventanas 2014.
- 4 Fernandez Rodriguez J. Biometanizacion en fases de temperatura de la fraccion organica de los residuos solidos urbanos. Universidad Internacional De Andalucia ; 2012.
- 5 Internacional-Avina. C. Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 9 Gestión Integral de Residuos Solidos (GIRS) [Internet]. 2012 Enero [cited 2016 Octubre 20].
- 6 Timm J. GESTIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS. Gestion de Residuos Solidos Urbanos Documento destinado a Docentes [Internet]. 2013.
- 7 Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental-Sermanat. Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. Mexico: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales; 2001.
- 8 Colomer J, Gallardo F. Tratamiento y gestión de los residuos sólidos. Ed. Universidad de Valencia: Reimpresa.; 2007.
- 9 Alcaide Tur A. Residuos Sólidos Urbanos. una consecuencia de la vida. Universidad

Jaume; 2012.

10 Campos Gómez I. Saneamiento Ambiental. Primera ed. San Jose: Editorial Universidad Estatal A Distancia; 2000.

11 Monteiro J, Mansur G, Segala K. Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en Ciudades de América Latina y el Caribe. (Ed.) Rio de Janeiro IBAM; 2006.

12 Fraume N. Abecedario Ecologico. Primera ed. Bogota: San pablo; 2006.

13 Rodríguez G, Londoño B, Herrera G. Ciudades ambientalmente sostenibles. Primera ed. Bogotá: Universidad del Rosario; 2008.

14 Mejía G. Digestión Anaerobia. Vol I. Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán (UADY); 1996.

15 Rodriguez R. Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica [Internet]. 2008.

16 Varnero Moreno M. Manual Del Biogás. Santiago de Chile: D - FAO; 2011.

17 Mital K. Biogas System. Vol I. New Age International Limited Publishers; 1997.

18 Montalvo S, Guerrero L. Tratamiento Anaerobio de Residuos. 1000th ed. Universidad Tecnica Federico Santa Maria ; 2004.

19 Barbera Martínez L. Biometanizacion en plantas industriales avanzadas: Generacion de energia apartir de residuos solidos urbanos. Bellisco ; 2011.

- 20 Moreno B, Gropelli E, Campanaella E. Revision de la principales tecnologías de purificación de biogás. Ciencia y Tecnología ed. Argentina : Universidad de Palermo ; 2010.
- 21 Agency-Enviroment. Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines. External Consultation Draft ed. Environment Agency; 2002.
- 22 Mckinsey Zicari S. Removal of hydrogen sulphide from biogas using cow manure compost. Faculty of the Graduate School of Cornell University ; 2003.
- 23 Agencia de Regulacion y Control de Electricidad. Proyecto de biogas relleno sanitario el Inga I y II. [Internet]. Quito 2015 [cited 2016 Diciembre ]. Available from: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/proyecto-de-biogas-relleno-sanitario-el-inga-i-y-ii/>.
- 24 Agencia de Control y Regulación de Electricidad. Proyecto de biogás Pichacay. [Internet]. 2015 [cited 2016 Diciembre ]. Available from: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/proyecto-de-biogas-pichacay/>.
- 25 Crisanto L. Estudio de factibilidad para implementar una central eléctrica aprovechando el biogas generado por el relleno sanitario del Inga. Quito (Pichincha ): Universidad Politecnica Salesiana; 2013.
- 26 Lalvay E, Juan V. Estudio Técnico Económico de una Planta de Generación de Energia Eléctrica a Base de Biogás. Cuenca: Universidad de Cuenca; 2013.
- 27 SECOFI (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial). Norma Mexicana NMX-AAA-015-1985. Protección al Ambiente - Contaminación del Suelo - Residuos Sólidos municipales - Muestreo - Método de Cuarteo.. Mexico: Diario Oficial de la Federación; 1985.

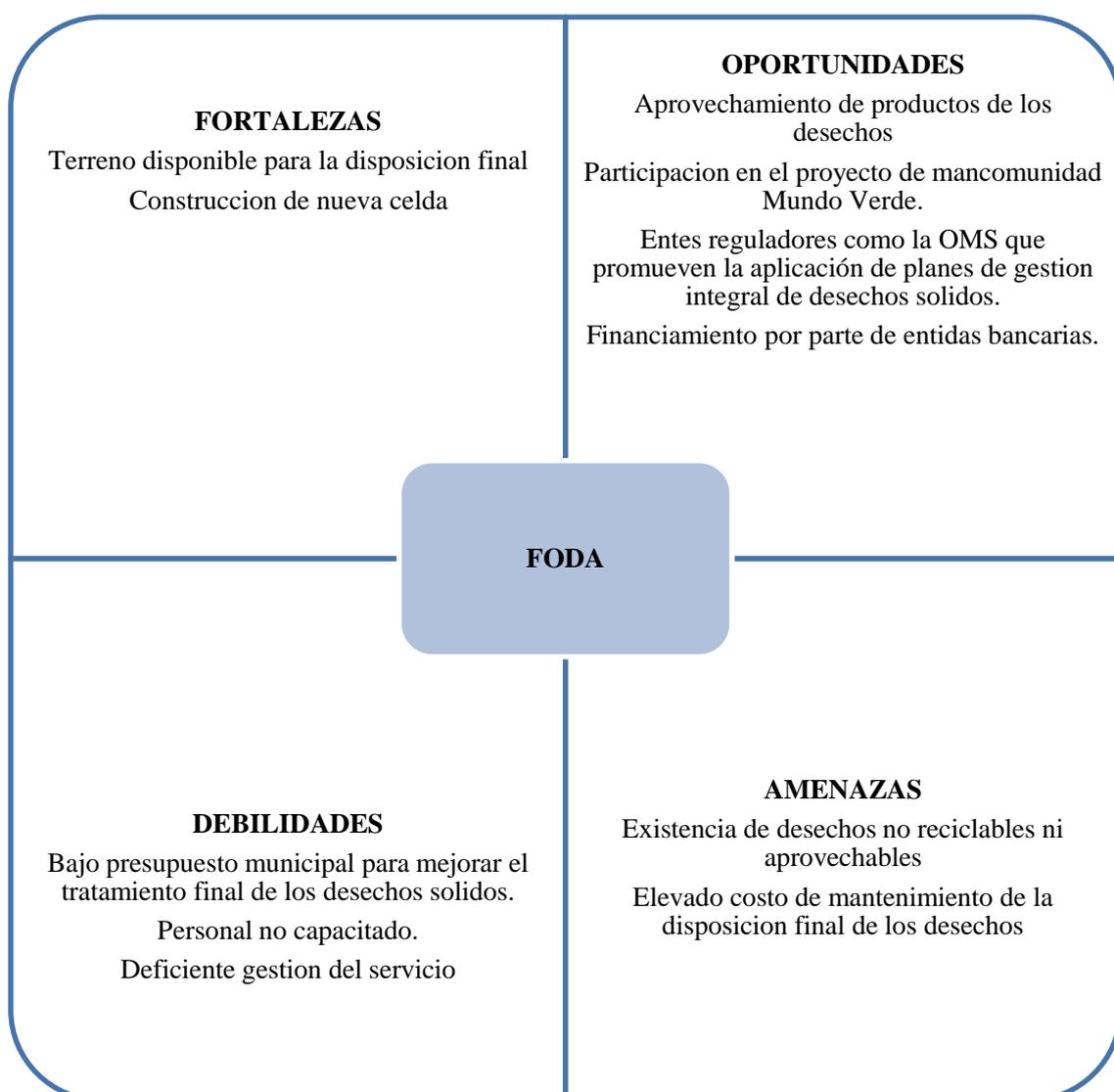
- 28 Kiely G. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión.. Madrid: Editorial McGraw-Hill; 2001.
- 29 Buswell AM, Muller HF. Mechanism of Methane Fermentation. Industrial and Engineering Chemistry. 1952.
- 30 Grupo-Intergubernamental-de-expertos-sobre-Cambio-Climatico. Directrices IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Modulo de desechos ed. 2006.
- 31 Calculadoras estadísticas. [Internet]. [cited 2016 Noviembre 4]. Available from: [www.netquest.com](http://www.netquest.com).
- 32 Rowlands, I HP, P &S, D. Consumer Perceptions of "green power". JOURNAL OF CONSUMER MARKETING. 2002;19.
- 33 Cruzatty C. VIABILIDAD DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) QUE SE GENERAN EN EL VERTEDERO DE LA PARROQUIA VELASCO IBARRA. Empalme: Universida Técnica Estátal de Quevedo; 2016.
- 34 Tchobanoglous G, Theisen H, Vigil S. Gestión Integral de Residuos Solidos. Vol II. Mexico: McGraw-Hill; 1994.
- 35 Bethancourth L, Villada D. EVALUACIÓN DEL PROYECTO DE QUEMADO DE BIOGÁS ENFOCADO A LOS MECANISMOS DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN EL RELLENO LA ESMERALDA, MANIZALES (CALDAS), BASADO EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL RELLENO SANITARIO DE ANTANAS, PASTO. Nariño: Universidad de manizales; 2013.

- 36 Aguila Q, Taboada P, Ojeda S. Modelo mexicano para la estimacion de biogás. Mejicali 2011.
- 37 López Á. Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Santiago de Chile : Universidad de Chile ; 2016.
- 38 Consejo Nacional de Electricidad. PRECIOS DE LA ENERGIA PRODUCIDA CON RECURSOS ENERGETICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES. Quito: CONELEC; 2014.
- 39 Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Quinsaloma. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Quinsaloma. Quinsaloma 2014.
- 40 Montalvo S, Guerrero L. Tratamiento anaerobio de residuos. Producción de Biogás. Federico Santa María: Universidad Tecnica; 2003.
- 41 Gobierno-Autonomo-descentralizado-Municipal-del-Canton-Ventanas. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Ventanas: GADM; 2014.
- 42 Gallardo A, Bovea MD, Ochera M, Beltrán M. Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos. Vol I. Castellon: de Onda; 2016.
- 43 Calejero J. Propuesta de creación de indicadores de gestión de residuos urbanos reciclables mediante análisis factorial. Universidad de Granada; 2011.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

Anexo 1. Foda



## Anexo 2. Ítems

Ítems	MA (5)	DA (4)	NA/ ND (3)	D (2)	MD (1)
<b>A. Generación de residuos en la ciudad</b>					
1. El vertedero actual constituye una tecnología apropiada para la disposición final de los residuos sólidos del cantón.					
2. El gobierno municipal debería promover la minimización de residuos y la separación en la fuente					
3. El gobierno municipal debería implementar programas educativos para fomentar la cultura de minimización de generación de residuos, separación en la fuente y el reciclaje.					
4. Es necesario que usted tome medidas con el fin de reducir, minimizar o eliminar la generación de residuos en la fuente.					
5. Es importante realizar la separación y clasificación de los residuos en la fuente.					
6. La industria y el comercio deberán llevar un registro mensual del tipo y cantidad de los residuos generados.					
<b>B. Condiciones actuales de operación del vertedero</b>					
7. El vertedero cuenta con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación.					
8. El vertedero debería contar con programas y sistemas para la prevención y el control de accidentes e incendios.					
9. El vertedero debería tener chimeneas para la captación y evacuación de los gases generados.					
10. El vertedero debe ser dirigido por un ingeniero ambiental.					
<b>C. Conflictos socio-ambientales del vertedero</b>					
11. El vertedero representa un problema sanitario para la ciudad.					
12. El vertedero se ubica en una zona donde no se ocasiona daños a los recursos hídricos y a la biodiversidad.					
13. El vertedero debe estar ubicado a una distancia mayor de 200 metros de la fuente de agua superficial más próxima.					
14. El vertedero debe mantener las condiciones necesarias para evitar la proliferación de vectores y otros animales que afecten la salud humana o la estética.					
<b>D. Opciones de aprovechamiento energético y material de los residuos del vertedero</b>					
15. El gas en el vertedero debería aprovecharse para generar energía					
16. El gas generado en el vertedero solo debe ser extraído porque es explosivo.					
17. El gas extraído del vertedero solo debe ser quemado, mas no aprovechado.					
18. El compostaje es una buena opción de aprovechamiento de los residuos del vertedero					

**Anexo 3. Ítems seleccionados para análisis de componentes principales**

Ítems	MA (5)	DA (4)	NA/ ND (3)	D (2)	MD (1)
<b>A. Generación de residuos en la ciudad</b>					
1. El vertedero actual constituye una tecnología apropiada para la disposición final de los residuos sólidos del cantón.					
2. La industria y el comercio deberán llevar un registro mensual del tipo y cantidad de los residuos generados.					
<b>B. Condiciones actuales de operación del vertedero</b>					
3. El vertedero cuenta con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación.					
4. El vertedero debería tener chimeneas para la captación y evacuación de los gases generados.					
5. El vertedero debe ser dirigido por un ingeniero ambiental.					
<b>C. Conflictos socio-ambientales del vertedero</b>					
6. El vertedero representa un problema sanitario para la ciudad.					
7. El vertedero debe estar ubicado a una distancia mayor de 200 metros de la fuente de agua superficial más próxima.					
<b>D. Opciones de aprovechamiento energético y material de los residuos del vertedero</b>					
8. El gas en el vertedero debería aprovecharse para generar energía					
9. El gas generado en el vertedero solo debe ser extraído porque es explosivo.					
10. El gas extraído del vertedero solo debe ser quemado, mas no aprovechado.					
11. El compostaje es una buena opción de aprovechamiento de los residuos del vertedero					

Anexo 4. Datos generales de encuestas

ÍTEM	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	B.7	B.8	B.9	B.10	C.11	C.12	C.13	C.14	D.15	D.16	D.17	D.18
1	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	3	4	4	5
2	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	2	4	4	5
3	3	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	2	2	5
4	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	5	5	4	2	2	5
5	3	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	2	2	3
6	2	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	2	2	5
7	2	5	5	5	5	4	5	5	4	3	4	5	5	5	3	1	1	5
8	3	5	5	5	5	4	4	5	4	5	4	5	5	5	4	2	2	5
9	1	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	1	1	3
10	1	5	5	4	5	3	5	5	4	5	5	5	5	5	4	3	2	5
11	1	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	3	2	2	4
12	1	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	3	1	1	4
13	2	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	2	2	3
14	3	5	5	5	5	4	5	5	3	4	3	5	5	5	3	4	3	4
15	3	5	5	4	5	4	4	4	3	5	2	5	5	5	3	2	2	4
16	1	5	5	5	5	3	5	5	3	4	5	5	5	5	4	2	2	3
17	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	2	2	3
18	1	5	5	5	5	3	5	5	5	5	4	5	5	5	3	1	1	3
19	2	4	4	4	4	3	5	5	4	5	5	5	5	5	3	1	1	5
20	2	5	5	5	5	5	5	5	3	3	4	5	5	5	3	3	3	4
21	2	5	5	5	5	5	4	4	3	5	5	5	5	5	3	3	3	4
22	3	5	5	5	5	5	4	4	3	4	4	5	5	5	3	3	3	4
23	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2	2	4
24	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	1	1	4
25	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	2	2	3
26	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	1	1	3
27	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	5	1	1	5
28	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	2	2	3
29	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	5	5	5	4	2	2	3
30	2	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	2	2	4
31	3	4	4	4	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	3	2	2	3
32	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	1	1	5
33	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	3	1	1	3
34	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	1	1	4
35	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	5	5	5	3	1	1	5
36	2	4	4	4	4	2	2	4	4	5	2	2	3	5	4	3	3	5
37	1	5	5	5	4	3	3	4	3	4	5	4	4	5	4	2	2	4
38	2	4	4	4	3	3	3	5	5	4	4	4	3	4	4	3	3	4
39	1	4	4	4	4	3	3	5	5	1	4	5	4	5	4	3	3	4
40	1	4	4	4	5	3	3	4	4	5	4	5	4	4	4	2	2	4
41	5	4	5	4	4	3	3	5	5	2	5	5	4	5	5	3	3	5
42	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5

43	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
44	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	2	2	3
45	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	3
46	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	3	3	3
47	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
48	2	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	3	5	5	5	5	1	1	5
49	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	1	2	5
50	4	5	5	5	5	3	4	4	4	4	5	4	5	5	5	3	2	2	5
51	2	4	4	5	5	3	4	4	4	4	5	2	4	4	5	4	3	3	5
52	2	5	5	4	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	2	2	5
53	4	5	5	5	5	5	4	4	3	5	3	5	5	5	5	3	2	2	5
54	3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5	5	2	2	5
55	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
56	3	4	4	5	5	3	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
57	2	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	1	1	5
58	1	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	5	5	5	5	5	3	3	5
59	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
60	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	3	2	5	5	5	3	2	2	4
61	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	1	1	5
62	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
63	2	5	5	5	5	4	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	1	1	5
64	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	3
65	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
66	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	3	1	1	3
67	5	5	5	4	4	3	3	5	5	2	4	5	5	5	5	5	2	2	4
68	2	4	4	4	5	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	2	2	5
69	3	4	4	5	5	3	4	4	4	4	4	3	4	5	5	5	2	2	5
70	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	5	3	5
71	1	5	5	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	5	5	4	4	4
72	3	4	4	4	4	4	3	4	4	2	3	4	4	4	4	4	2	2	5
73	1	5	5	5	5	4	2	5	5	4	3	4	4	4	4	4	2	2	4
74	3	5	5	4	4	3	3	5	3	4	4	4	5	4	5	4	2	2	5
75	3	5	5	4	4	3	1	5	5	3	5	3	3	5	5	5	2	1	5
76	1	5	5	4	5	4	1	4	2	3	5	5	1	5	5	5	3	2	3
77	2	4	4	4	4	5	3	3	3	3	3	5	3	3	3	4	3	2	4
78	1	5	5	4	4	3	1	5	5	5	2	5	3	5	3	3	3	1	4
79	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	2	3	3	5	4	3	3	1	4
80	1	5	5	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	5	4	3	3	3	4
81	4	5	4	4	4	5	4	5	4	4	3	4	5	4	4	5	4	4	4
82	4	4	5	3	3	5	4	4	3	4	3	4	4	4	4	5	3	4	3
83	5	4	3	3	5	4	3	4	4	3	5	5	4	4	5	4	4	5	4
84	3	4	4	5	3	3	3	5	4	5	5	4	5	4	3	4	4	3	4
85	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	3	3	4	3	4	4	3	4
86	4	4	5	3	5	3	3	4	5	3	4	5	3	5	3	5	4	3	4
87	4	5	3	2	4	1	5	1	3	4	3	2	5	2	4	3	3	3	2
88	4	5	5	5	4	5	3	4	3	4	5	4	3	5	4	3	3	3	3

89	4	4	5	4	4	5	3	4	3	5	5	3	3	3	5	5	4	4
90	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	5	5
91	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	3	3	5	4	3	3	3
92	1	3	4	5	5	5	1	5	3	5	1	5	5	4	4	5	5	5
93	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	1	1	5
94	3	4	4	4	5	3	5	5	5	5	3	5	5	5	3	1	1	5
95	5	4	4	5	4	5	3	5	2	3	5	4	5	4	5	3	1	5
96	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5	5	5	3	2	2	5
97	3	5	4	5	4	4	3	5	3	3	3	4	5	4	4	1	1	5
98	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	2	2	5
99	3	4	4	4	4	4	4	4	4	5	3	5	5	5	3	2	2	5
100	1	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	5	5	5	3	2	2	5
101	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	1	1	4
102	2	5	5	5	5	5	5	5	3	5	2	5	5	5	3	2	2	4
103	3	5	5	5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	5	5	2	2	4
104	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	2	2	4
105	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	5	3	2	2	5
106	3	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	2	2	5
107	2	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	3	3	4
108	3	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	3	2	2	4
109	1	5	5	5	5	4	4	4	3	4	5	4	4	5	3	2	2	4
110	2	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	3	2	2	4
111	1	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	1	1	5
112	3	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	1	1	3
113	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	2	2	3
114	2	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	2	2	5
115	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	2	2	3
116	1	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	3	2	2	3
117	3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	5
118	3	5	5	4	4	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	2	2	4
119	2	5	5	4	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	4	3	3	5
120	3	5	5	4	5	4	5	5	5	5	2	5	5	5	3	2	2	5
121	1	5	5	4	5	4	5	5	4	3	5	5	5	5	3	2	2	5
122	2	4	4	4	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5	4	3	3	5
123	3	5	5	5	5	4	5	5	4	5	3	5	5	5	4	2	2	5
124	2	5	5	5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	5	3	2	2	5
125	1	4	4	4	4	5	5	5	4	5	4	5	5	5	3	4	4	5
126	3	5	4	5	3	4	5	5	4	3	5	4	4	5	4	3	1	4
127	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2	5	5	5	5	1	1	5
128	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4
129	1	4	4	4	4	3	5	5	5	5	1	5	5	5	3	3	3	5
130	1	4	5	4	4	4	2	5	4	3	2	2	4	5	5	1	1	5
131	1	5	5	5	5	4	5	4	3	5	1	5	5	5	3	5	5	5
132	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	2	2	4
133	1	5	5	4	4	3	5	5	4	3	4	5	5	5	5	1	1	5
134	5	4	4	4	4	4	5	5	5	5	2	5	5	5	5	2	2	5

135	3	4	4	5	5	4	5	5	4	5	2	4	4	4	2	4	4	5
136	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	2	5	5	5	5	1	1	5
137	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	2	4	4	4	4	2	2	5
138	4	5	5	5	5	4	4	5	5	3	1	5	5	5	5	1	2	3
139	4	5	5	5	5	4	4	5	3	3	2	4	5	5	4	2	1	5
140	4	4	4	4	4	3	5	5	5	3	2	4	4	4	2	2	4	4
141	2	4	5	3	4	3	4	5	4	3	2	4	5	5	3	2	1	5
142	4	4	5	5	5	5	5	5	3	5	2	4	5	5	5	3	1	3
143	4	4	5	4	4	4	2	5	4	3	2	4	2	5	5	2	1	5
144	2	5	5	5	5	5	1	5	5	5	4	4	3	3	4	3	3	3
145	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	2	2	3	3	2	1
146	1	5	5	5	5	4	2	5	5	5	2	3	3	5	5	1	1	5
147	3	5	5	4	4	3	2	5	5	5	2	5	5	5	4	3	1	3
148	3	5	5	4	5	3	5	5	4	5	4	5	5	5	4	1	1	5
149	2	5	5	4	5	4	5	5	4	3	4	5	5	5	4	2	2	5
150	3	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	2	2	3

Fuente: datos de la investigación

Elaborado por: autora

**Anexo 5.** Ítems seleccionados para componentes principales

ÍTEM	A.1	A.2	B.3	B.4	B.5	C.6	C.7	D.8	D.9	D.10	D.11
1	2	4	5	5	5	4	5	3	4	4	5
2	2	5	5	4	5	4	5	2	4	4	5
3	3	4	5	4	5	4	5	4	2	2	5
4	2	5	5	4	5	3	5	4	2	2	5
5	3	4	5	5	5	4	5	4	2	2	3
6	2	4	5	5	5	4	5	4	2	2	5
7	2	4	5	4	3	4	5	3	1	1	5
8	3	4	4	4	5	4	5	4	2	2	5
9	1	4	5	4	5	5	5	4	1	1	3
10	1	3	5	4	5	5	5	4	3	2	5
11	1	4	5	4	5	4	5	3	2	2	4
12	1	4	5	5	5	5	5	3	1	1	4
13	2	4	5	4	5	4	5	5	2	2	3
14	3	4	5	3	4	3	5	3	4	3	4
15	3	4	4	3	5	2	5	3	2	2	4
16	1	3	5	3	4	5	5	4	2	2	3
17	2	5	5	4	5	5	5	3	2	2	3
18	1	3	5	5	5	4	5	3	1	1	3
19	2	3	5	4	5	5	5	3	1	1	5
20	2	5	5	3	3	4	5	3	3	3	4
21	2	5	4	3	5	5	5	3	3	3	4
22	3	5	4	3	4	4	5	3	3	3	4
23	1	5	5	5	5	5	5	3	2	2	4
24	3	5	5	5	5	4	5	3	1	1	4
25	3	5	5	5	4	4	5	5	2	2	3
26	2	5	5	5	4	5	5	5	1	1	3
27	1	5	5	5	4	3	5	5	1	1	5
28	2	5	5	5	5	3	5	5	2	2	3
29	2	5	5	5	4	2	5	4	2	2	3
30	2	5	5	5	3	3	5	3	2	2	4
31	3	5	5	5	4	3	5	3	2	2	3
32	3	5	5	5	3	3	5	3	1	1	5
33	3	5	5	5	5	2	5	3	1	1	3
34	3	5	5	5	5	3	5	3	1	1	4
35	1	4	4	4	4	3	5	3	1	1	5
36	2	2	2	4	5	2	3	4	3	3	5
37	1	3	3	3	4	5	4	4	2	2	4
38	2	3	3	5	4	4	3	4	3	3	4
39	1	3	3	5	1	4	4	4	3	3	4
40	1	3	3	4	5	4	4	4	2	2	4
41	5	3	3	5	2	5	4	5	3	3	5
42	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
43	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5

44	3	5	5	5	5	3	5	5	2	2	3
45	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3
46	2	5	5	5	5	3	5	5	3	3	3
47	3	4	5	5	5	3	5	5	1	1	5
48	2	5	4	4	4	3	5	5	1	1	5
49	1	5	5	5	5	2	5	5	1	2	5
50	4	3	4	4	5	4	5	3	2	2	5
51	2	3	4	4	5	2	4	4	3	3	5
52	2	3	5	5	5	3	5	3	2	2	5
53	4	5	4	3	5	3	5	3	2	2	5
54	3	5	4	5	5	3	5	5	2	2	5
55	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
56	3	3	5	5	5	3	5	5	1	1	5
57	2	5	5	5	5	3	5	3	1	1	5
58	1	5	4	4	3	3	5	5	3	3	5
59	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
60	3	5	5	5	3	2	5	3	2	2	4
61	4	5	5	5	5	3	5	3	1	1	5
62	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
63	2	4	5	5	3	3	5	3	1	1	5
64	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	3
65	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
66	3	5	5	5	5	3	5	3	1	1	3
67	5	3	3	5	2	4	5	5	2	2	4
68	2	3	4	4	4	3	4	4	2	2	5
69	3	3	4	4	4	3	5	5	2	2	5
70	2	5	5	5	3	3	5	3	5	3	5
71	1	4	3	3	4	3	4	5	4	4	4
72	3	4	3	4	2	3	4	4	2	2	5
73	1	4	2	5	4	3	4	4	2	2	4
74	3	3	3	3	4	4	4	4	2	2	5
75	3	3	1	5	3	5	3	5	2	1	5
76	1	4	1	2	3	5	1	5	3	2	3
77	2	5	3	3	3	5	3	4	3	2	4
78	1	3	1	5	5	2	3	3	3	1	4
79	3	3	3	3	3	2	3	4	3	1	4
80	1	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4
81	4	5	4	4	4	3	5	4	5	4	4
82	4	5	4	3	4	3	4	5	3	4	3
83	5	4	3	4	3	5	4	5	4	5	4
84	3	3	3	4	5	5	5	3	4	3	4
85	5	4	4	4	5	4	3	3	4	3	4
86	4	3	3	5	3	4	3	3	5	4	3
87	4	1	5	3	4	3	5	4	3	3	2
88	4	5	3	3	4	5	3	4	3	3	3
89	4	5	3	3	5	5	3	5	5	4	4

90	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5
91	5	4	5	5	4	5	3	4	3	3	3
92	1	5	1	3	5	1	5	4	5	5	5
93	3	5	5	5	5	3	5	5	1	1	5
94	3	3	5	5	5	3	5	3	1	1	5
95	5	5	3	2	3	5	5	5	3	1	5
96	3	5	5	5	3	3	5	3	2	2	5
97	3	4	3	3	3	3	5	4	1	1	5
98	4	5	5	5	5	3	5	5	2	2	5
99	3	4	4	4	5	3	5	3	2	2	5
100	1	5	5	5	4	3	5	3	2	2	5
101	2	5	5	4	5	4	5	3	1	1	4
102	2	5	5	3	5	2	5	3	2	2	4
103	3	4	5	5	5	2	5	5	2	2	4
104	2	5	5	4	5	4	5	3	2	2	4
105	4	4	5	5	5	2	5	3	2	2	5
106	3	4	5	4	5	5	5	4	2	2	5
107	2	4	5	4	5	4	5	4	3	3	4
108	3	4	5	4	5	4	5	3	2	2	4
109	1	4	4	3	4	5	4	3	2	2	4
110	2	4	5	5	4	5	5	3	2	2	4
111	1	5	5	4	5	5	5	3	1	1	5
112	3	5	5	4	5	4	5	3	1	1	3
113	2	5	5	5	5	4	5	5	2	2	3
114	2	4	5	4	5	4	5	4	2	2	5
115	1	5	5	5	5	5	5	4	2	2	3
116	1	4	5	4	5	4	5	3	2	2	3
117	3	5	5	5	5	5	5	5	2	2	5
118	3	5	5	4	5	4	5	3	2	2	4
119	2	4	5	4	5	5	5	4	3	3	5
120	3	4	5	5	5	2	5	3	2	2	5
121	1	4	5	4	3	5	5	3	2	2	5
122	2	4	5	5	5	3	5	4	3	3	5
123	3	4	5	4	5	3	5	4	2	2	5
124	2	5	5	4	5	2	5	3	2	2	5
125	1	5	5	4	5	4	5	3	4	4	5
126	3	4	5	4	3	5	4	4	3	1	4
127	3	5	5	5	3	2	5	5	1	1	5
128	3	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4
129	1	3	5	5	5	1	5	3	3	3	5
130	1	4	2	4	3	2	4	5	1	1	5
131	1	4	5	3	5	1	5	3	5	5	5
132	4	4	4	4	4	2	4	4	2	2	4
133	1	3	5	4	3	4	5	5	1	1	5
134	5	4	5	5	5	2	5	5	2	2	5
135	3	4	5	4	5	2	4	2	4	4	5

136	5	3	5	5	5	2	5	5	1	1	5
137	4	4	5	5	5	2	4	4	2	2	5
138	4	4	4	5	3	1	5	5	1	2	3
139	4	4	4	3	3	2	5	4	2	1	5
140	4	3	5	5	3	2	4	2	2	4	4
141	2	3	4	4	3	2	5	3	2	1	5
142	4	5	5	3	5	2	5	5	3	1	3
143	4	4	2	4	3	2	2	5	2	1	5
144	2	5	1	5	5	4	3	4	3	3	3
145	4	4	4	4	4	5	2	3	3	2	1
146	1	4	2	5	5	2	3	5	1	1	5
147	3	3	2	5	5	2	5	4	3	1	3
148	3	3	5	4	5	4	5	4	1	1	5
149	2	4	5	4	3	4	5	4	2	2	5
150	3	4	5	5	4	4	5	4	2	2	3
DESV.	1.1	0.8	1.1	0.8	0.9	1.1	0.8	0.9	1.0	1.0	0.9
VAR.	1.3	0.7	1.1	0.6	0.8	1.2	0.6	0.7	1.1	1.0	0.7

Fuente: datos de la investigación  
Elaborado por: autora

Anexo 6. Fotografías

