



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

### **TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TITULO:**

---

**DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA VERTIDA EN EL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA, EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN Y ENERGÍA ASOCIADA EN EL AÑO 2013. Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

---

Autor: MENA Venegas, Iván Oswaldo

Tutor: TERRERO Matos Eduardo Ing. MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

Septiembre – 2015



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Mena Venegas Iván Oswaldo, con el título de tesis: **“DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA VERTIDA EN EL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA, EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN Y ENERGÍA ASOCIADA EN EL AÑO 2013, Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga Septiembre del 2015.

Para constancia firman:

.....

MSc. Paulina Freire  
PRESIDENTE

.....

MSc. Fabián Salazar  
MIEMBRO

.....

PhD. Iliana González  
MIEMBRO

.....

PhD. Gustavo Rodríguez  
OPONENTE



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

**AVAL DEL TUTOR DE TESIS**

Latacunga, Septiembre del 2015.

En mi calidad de Director de Tesis presentada por el Ing. Mena Venegas Iván Oswaldo, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA VERTIDA EN EL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA, EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN Y ENERGÍA ASOCIADA EN EL AÑO 2013, Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente,

---

Ing. MSc. Eduardo Terrero Matos.  
DIRECTOR DE TESIS



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

**AUTORÍA**

Yo, Iván Oswaldo Mena Venegas, portador del número de cédula 0501691083, declaro que la presente Tesis de Grado, es fruto de mi esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente,

---

Iván Oswaldo Mena Venegas  
C. I. 0501691083

## AGRADECIMIENTO

*Primero el agradecimiento a Dios por darme el privilegio del don de la vida y la fortaleza divina para lograr culminar con total éxito este trabajo.*

*A mis queridos padres, hermanos, sobrinos y familia de mi esposa que en paz descanse quienes con su infinita bondad me apoyaron en los momentos más difíciles que me toco afrontar en el camino de mi vida.*

*Un agradecimiento muy especial a mi querido Hijo Sebastián a quien sacrifique un poco de atención en la mejor etapa de su niñez, quien me apoyo y que constantemente con su inocencia me daba fortaleza para seguir adelante.*

*Y a todas las personas que con su buena voluntad, experiencia y conocimientos han aportado para la realización de este proyecto de investigación.*

*Iván Oswaldo.....*

## DEDICATORIA

*Este proyecto tiene especial dedicatoria a mi Hijo Sebastián quien con su infinito amor, ternura, y comprensión al haber sacrificado la mejor etapa de su niñez permitió hacer realidad este sueño; a mis dos angelitos del cielo Rosario y Sofía que con sus bendiciones y su infinita misericordia me iluminaron el camino para llegar a culminar este proyecto y verme realizado como profesional.*

*A mis queridos padres, hermanos y cuñadas que con su cariño y comprensión me brindaron todo su apoyo para feliz término de esta investigación.*

*Iván Oswaldo .....*



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

**PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”**

**“DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA VERTIDA EN EL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA, EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN Y ENERGÍA ASOCIADA EN EL AÑO 2013, Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.**

Autor: MENA Venegas Iván Oswaldo

Fecha: Septiembre del 2015





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADOS

Latacunga – Ecuador

### MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

**TÍTULO: “DIAGNÓSTICO DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA VERTIDA EN EL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA, EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN Y ENERGÍA ASOCIADA EN EL AÑO 2013, Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EFICIENTE PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.**

**AUTOR:** MENA Venegas Iván Oswaldo.

**TUTOR:** TERRERO Matos Eduardo Ing. MSc.

### RESUMEN

El botadero de basura controlado del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal del Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, localizado en el sector de Chugchilan en funcionamiento desde 1981, no tiene implementado ningún sistema de recolección de biogás, todos los desechos sólidos son dispuestos en dicho lugar de forma controlada, pero la generación de dichos gases son emitidas de forma directa al medio ambiente. El objetivo del presente proyecto de investigación es determinar el potencial de la Biomasa contenida en el botadero, presentar una alternativa para aprovechar las características inflamables del biogás con la finalidad de producir energía eléctrica mediante el uso de motores de combustión interna acoplado a él un generador. De acuerdo a datos de la Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental de Latacunga (EPAGAL) al botadero de basura arriban en promedio 103,90 ton/día de desechos sólidos urbanos lo que implica que al año se dispone de 37.923,50 toneladas, con un crecimiento estimado del 1.90 % anual. Con la cantidad indicada de desechos se pretende obtener 411  $m^3/h$  de biogás. Teniendo en cuenta que 1  $m^3$  de biogás recuperado del botadero de basura contiene un 50% de metano  $CH_4$  aproximadamente, cuyo valor calorífico es de 10,8  $KWh/m^3$ , el inicio de la producción de energía eléctrica estaría supeditado a la asignación de recursos por parte del GAD Municipal o al patrocinio de la misma y esto se podría ejecutar a partir del año 2016, para su funcionamiento se emplearía tres generadores de 280 kW de potencia y para el año 2024 se completaría su parque generador con dos generadores de 280 kW, toda la generación de energía eléctrica que se logre producir sería entregado a la red de distribución de la empresa eléctrica y de esta forma la descomposición de los desechos sólidos se transformarían en energía limpia. Por otra parte, con la captación del biogás que se produce en el botadero de basura, se logrará disminuir de manera considerable la contaminación al medio ambiente y con estas acciones conseguir disminuir los efectos del calentamiento global que es causado cuando el metano va directamente a la atmosfera.

**Descriptores:** Biogás, Generación de Energía Eléctrica, Basurero, GAD Latacunga, Chugchilán, Desechos Sólidos Urbanos, EPAGAL, Metano.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
Latacunga – Ecuador

---

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: “POTENTIAL DIAGNOSTIC OF BIOMASS POURED INTO THE GARBAGE DUMP OF LATACUNGA, IN RELATION WITH THE VOLUME AND ENERGY ASSOCIATED IN 2013 AND PROPOSAL OF AN EFFICIENT SYSTEM FOR GENERATING”.**

**AUTHOR:** MENA Venegas Iván Oswaldo.

**TUTOR:** TERRERO Matos Eduardo Ing. MSc.

**ABSTRACT**

The controlled garbage dump of Municipal GAD from Latacunga Canton, Cotopaxi province, in operation since 1981, has not implemented any biogas collection system, all solid wastes are disposed therein in a controlled manner, but the generation of such gases are emitted directly into the environment. The objective of this research project is to determine the amount of biogas that can be obtained; presenting an alternative to take advantage of flammable characteristics of biogas in order to produce electricity by using internal combustion engines coupled a generator to it. Currently at the garbage dump arrive on average 103,90 tons / day of urban solid waste which implies that are available annually 37,923.50 tons, with the indicated amount of waste can be obtained biogas 411  $m^3/h$  of biogas. Given that 1  $m^3$  biogas recovered from garbage dump contains 50% methane  $CH_4$ , approximately whose calorific value is of 10,8  $KWh/m^3$ , the beginning of electricity production would be subordinated to the allocation of resources by the Municipal GAD or sponsorship thereof and this could run from 2016, to operate three generators of 280 kW would be used for 2024 and its generating facilities would be completed over two 280 kW generator, all power generation is able to produce; it would be delivered to the distribution network to the electrical enterprise and thus the decomposition of solid waste would be transformed into clean energy. Moreover, with the capture of biogas produced in the garbage dump will be achieved considerably to reduce the environment contamination and with these actions get lessen the effects of warming overall that is caused when methane goes directly to the atmosphere.

Descriptors: Biogas, Electric Power Generation, Garbage, GAD Latacunga, Chugchilán, Urban Solid Waste, EPAGAL, Methane.

## ÍNDICE

<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....</b>	<b>ii</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE TESIS .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORÍA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS.....</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1: EL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3 OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4 JUSTIFICACIÓN Y SIGNIFICACIÓN.....	5
1.5 HIPÓTESIS .....	6
1.6 OBJETIVOS .....	6
1.6.1 OBJETIVOS GENERALES .....	6
1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
1.7 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.2 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES .....	12
2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO .....	12
2.3.1 ENERGÍAS RENOVABLES .....	12
2.3.2 ENERGÍA DE LA BIOMASA .....	13
2.3.3 EL USO DE LA BIOMASA PUEDE SER DIRECTA O INDIRECTA .	15
2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA.....	16
2.3.5 CONVERSIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA .....	17
2.3.6 CENTRAL DE BIOMASA.....	18
2.3.7 ENERGÍA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU) .....	19
2.3.8 FORMACIÓN DEL BIOGÁS EN UN RELLENO SANITARIO.....	19
2.3.9 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS DE UN RELLENO SANITARIO .....	20
2.3.10 PROPIEDADES DEL BIOGÁS DE UN RELLENO SANITARIO.....	21

2.3.11	ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RELLENOS SANITARIOS .....	22
2.4	EL RECURSO BIOMASA EN ECUADOR .....	23
2.4.1	USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE.....	23
2.4.2	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO LA BIOMASA EN ECUADOR .....	24
2.5	ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DE PICHACAY EN AZUAY .....	25
2.5.1	RELLENO SANITARIO DE PICHACAY.....	26
2.5.2	INGRESOS DE DESECHOS.....	27
2.5.3	BIOGÁS .....	27
2.5.4	GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	28
2.6	MARCO LEGAL DE LA BIOMASA EN ECUADOR.....	29
2.6.1	SECTOR ELÉCTRICO EN ECUADOR .....	29
2.6.2	MARCO INSTITUCIONAL.....	30
2.6.3	PARTICIPANTES DEL MERCADO.....	31
2.6.4	NORMATIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR... 31	
2.6.5	LEY DE RÉGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO LRSE, SUPLEMENTO-REGISTRO OFICIAL N° 43.....	32
2.6.6	REGLAMENTOS QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR .....	33
2.6.7	REGULACIONES DEL CONELEC QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR .....	35
2.6.8	PLANES QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR.....	40
2.7	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	41
2.8	CONCLUSIÓN DEL CAPITULO .....	43
	<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
3.1	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	44
3.1.1	MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	44
3.1.2	FORMA .....	44
3.1.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	45
3.2	UNIDAD DE ESTUDIO .....	47
3.2.1.	POBLACIÓN .....	47
3.2.2.	MUESTRA .....	47
3.2.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....	48
3.3	MODELOS PREDICTIVOS ESTÁNDAR Y PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	50
3.3.1	MODELO LANGEM.....	50
3.3.2	MODELO DE DECAIMIENTO DE PRIMER ORDEN .....	51

3.3.3	MODELO BINGEMER Y CRUTZEN .....	51
3.3.4	MODELO DE PRIMER ORDEN MODIFICADO “VAN ZANTEN & SCHEEPERS” .....	52
3.3.5	MODELO TRIANGULAR .....	53
3.3.6	MODELO POLIFÁSICO .....	53
3.3.7	MODELO SCHOOL-CANYON.....	54
3.3.8	MODELO GASFILL “FINDIKAKIS” .....	54
3.3.9	PARÁMETROS .....	55
3.3.9.1	VALORES CONSTANTES PARA LA GENERACIÓN DEL METANO Y DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DEL METANO .....	55
3.3.9.2	VALORES DE LOS PARÁMETROS FCM, COD, CODf, F, R y OX.. .....	56
3.4	ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE BIOGÁS.. .....	58
3.5	FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	60
3.6	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE MODELO DE BIOGÁS DE ECUADOR . .....	61
3.7	DATOS GENERALES DEL PROYECTO.....	63
3.7.1	LA EMPRESA EPAGAL.....	63
3.7.2	UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO .....	65
3.7.3	SUPERFICIE TOTAL DEL TERRENO .....	65
3.7.4	CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO .....	67
3.7.5	VÍAS DE ACCESO.....	67
3.8	INFRAESTRUCTURA .....	68
3.8.1	CENTRO DE CLASIFICACIÓN DE LA BASURA .....	68
3.8.2	BOTADERO A CIELO ABIERTO .....	68
3.8.3	CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS .....	69
3.8.4	CERRAMIENTO QUE CUBRE EL PERÍMETRO DEL BOTADERO. 70	
3.8.5	CONTROL DE LIXIVIADOS .....	71
3.8.6	FUNCIONAMIENTO .....	71
3.8.7	PERSONAL QUE TRABAJAN EN EL BOTADERO .....	71
3.8.8	MAQUINARIA DISPONIBLE.....	71
3.9	BIOMASA DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU).....	72
3.9.1	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS.....	72
3.9.2	CALCULO DE LA DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS.....	73
3.9.3	COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL BOTADERO.. 75	

3.9.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL CANTÓN LATACUNGA .....	75
3.9.5	CANTIDAD DE RSU QUE LLEGAN AL BOTADERO DE BASURA .....	76
3.10	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	77
3.10.1	NIVEL DE ESTUDIO .....	77
3.10.2	FASE DE CAMPO .....	78
3.10.3	MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	78
3.10.4	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD .....	81
3.10.5	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS .....	82
3.10.6	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO .....	82
3.10.7	PODER CALORÍFICO DE LOS RSU .....	83
3.11	CONCLUSIONES DEL CAPITULO .....	84
<b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>85</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	85
4.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS .....	85
4.2.1	TEMPERATURA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	86
4.2.2	PRECIPITACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	86
4.2.3	HUMEDAD ATMOSFÉRICA .....	87
4.2.4	VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO .....	88
4.2.5	NUBOSIDAD .....	88
4.2.6	EVAPORACIÓN .....	88
4.3	DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA DEL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA.....	89
4.3.1	DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS .....	89
4.3.2	DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS .....	90
4.3.3	POTENCIAL DE GENERACIÓN .....	91
4.4	PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE RSU ...	92
4.4.1	DATOS NECESARIOS PARA LA ESTIMACIÓN Y RECUPERACIÓN DEL BIOGÁS DEL VERTEDERO .....	93
4.4.2	INGRESO DE DATOS A LA HOJA ELECTRÓNICA .....	99
4.4.3	RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL VERTEDERO .....	100
4.4.4	GRAFICA DE LA PROYECCIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS DEL VERTEDERO.....	101
4.4.5	DETERMINACIÓN DEL USO DEL BIOGÁS OBTENIDO DEL VERTEDERO .....	102
4.5	CONCLUSIONES DEL CAPITULO .....	103

<b>CAPÍTULO 5: LA PROPUESTA .....</b>	<b>104</b>
5.1 TITULO DE LA PROPUESTA .....	104
5.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.....	104
5.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA.....	104
5.4 ESTRUCTURA Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....	104
5.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	105
5.5.1 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA GENERACIÓN.....	105
5.5.1.1 TURBINAS DE GAS .....	105
5.5.1.2 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA .....	107
5.5.1.3 CELDAS DE COMBUSTIBLE .....	108
5.5.2 POTENCIA ELÉCTRICA PROYECTADA PARA LA GENERACIÓN ..	111
5.6 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA CENTRAL PROPUESTA..	114
5.6.1 POTENCIA INSTALADA.....	115
5.6.2 FACTOR DE PLANTA .....	117
5.6.3 POTENCIA FIRME .....	118
5.6.4 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA MEDIA ANUAL .....	119
5.6.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS GENERADORES .....	120
5.6.6 UBICACIÓN DE LA CENTRAL EN EL BOTADERO DE BASURA Y	
CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA .....	121
5.6.7 ESQUEMA TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA	
CENTRAL ELÉCTRICA PARA UN RELLENO SANITARIO O BOTADERO	
DE BASURA.....	122
5.6.8 CICLO DE CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS DEL	
BOTADERO DE BASURA.....	123
5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ESTUDIO .....	125
5.7.1 COSTOS DEL PROYECTO .....	125
5.7.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN .....	125
5.7.1.2 COSTOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA	
CENTRAL.....	127
5.7.2 INGRESOS.....	127
5.7.2.1 COSTOS POR VENTA DE ENERGÍA .....	127
5.7.2.2 VENTA DE BONOS DE CARBONO .....	128
5.7.2.3 VENTA DE CERTIFICADOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES	
(CERs) .....	129
5.7.3 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICA.....	131
5.7.3.1 CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO .....	131
5.7.3.2 CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	132

5.7.3.3	CALCULO DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL DESCONTADO (PRCD).....	132
5.7.4	RESULTADOS .....	133
5.8	CONCLUSIONES DEL CAPITULO .....	134
	CONCLUSIONES.....	135
	RECOMENDACIONES .....	137
	BIBLIOGRAFÍA .....	138
	REFERENCIAS .....	139
	ANEXOS.....	141



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Recuperación energética de los RSU .....	8
Figura 2.2 Esquema conceptual del proceso de incineración de RSU .....	9
Figura 2.3 Esquema conceptual de la recuperación y aprovechamiento de gases de vertedero.....	11
Figura 2.4 Sistema modular de conversión de gas de invernadero en energía eléctrica (Highland Energy Inc).....	11
Figura 2.5 Origen de la biomasa que se conoce.....	16
Figura 2.6 Central de biomasa.....	18
Figura 3.1 Ubicación del Botadero de Basura.....	65
Figura 3.2 Botadero a cielo abierto de los desechos sólidos de EPAGAL.....	66
Figura 3.3 Mapa base del área de estudio.....	67
Figura 3.4 Entrada al botadero de cielo abierto de EPAGAL .....	68
Figura 3.5 Celda de disposición de los residuos tóxicos .....	70
Figura 3.6 Cerramiento del Botadero de Basura .....	70
Figura 3.7 Ejemplo de residuos urbanos generados en las ciudades.....	73
Figura 3.8 Composición de los residuos sólidos .....	76
Figura 3.9 Perforación para la obtención de las muestras en el botadero de basura .....	79
Figura 3.10 Recolección en otro punto del botadero de las muestras .....	79
Figura 3.11 Recolección en otro punto del botadero de las muestras .....	80
Figura 4.1 Precipitaciones Medio Mensual y Anual para Latacunga.....	87
Figura 4.2 Hoja de ingreso de datos para el cálculo de la producción de biogás.....	99
Figura 4.3 Gráfica de la proyección y recuperación del biogás del vertedero del Municipio de Latacunga.....	102
Figura 5.1 Estructura de la turbina a gas .....	106
Figura 5.2 Motor de combustión interna .....	108
Figura 5.3 Pila o celda de combustible.....	111
Figura 5.4 Potencial Energético del Biogás disponible.....	117
Figura 5.5 Ubicación de la central eléctrica en el botadero de basura. ....	122
Figura 5.6 Proceso de captación y uso del biogás de un relleno sanitario. ....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando el biogás.....	19
Tabla 2. 2 Composición del biogás en función de la biomasa usada. ....	20
Tabla 2. 3 Valor Calorífico del Biogás crudo y depurado.....	21
Tabla 2. 4 Proyección de la capacidad de generación de energía eléctrica .....	29
Tabla 2. 5 Precios preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh). ....	38
Tabla 2. 6 Precios preferentes Centrales Hidroeléctricas hasta 50 MW en (cUSD/kWh). .....	38
Tabla 3. 1 Variable Independiente y Dependiente .....	49
Tabla 3. 2 Valores de la constante k de generación de metano .....	55
Tabla 3. 3 Valores de la constante Lo potencial de generación de metano.....	56
Tabla 3. 4 Valores para el parámetro FCM de acuerdo al tipo de relleno sanitario. ....	56
Tabla 3. 5 Potencial del biogás proveniente de rellenos sanitarios en varios países de Europa.....	59
Tabla 3. 6 Tecnologías de uso del GRS y rangos típicos de Flujo/Potencia .....	61
Tabla 3. 7 Número de habitantes y generación de residuos por sector. ....	64
Tabla 3. 8 Composición de la basura que se genera en el Cantón Latacunga .....	75
Tabla 3. 9 Resumen de la producción de total de residuos sólidos por día del cantón Latacunga.....	77
Tabla 3. 10 Producción promedio Ton/día de residuos sólidos.....	77
Tabla 3. 11 Composición física de las muestras obtenidas del botadero .....	81
Tabla 3. 12 Tabla de contenido de humedad. ....	82
Tabla 3. 13 Composición química de los residuos .....	83
Tabla 4. 1 Temperatura Ambiente para el Cantón Latacunga.....	86
Tabla 4. 2 Precipitaciones Medio Mensual y Anual para el cantón Latacunga.....	86
Tabla 4. 3 Humedad Atmosférica registrada para el Cantón Latacunga .....	87
Tabla 4. 4 Velocidad del viento para el Cantón Latacunga.....	88
Tabla 4. 5 Valores Medios de Nubosidad para el Cantón Latacunga.....	88
Tabla 4. 6 Contenido de humedad de los residuos del botadero .....	89
Tabla 4. 7 Composición química de los residuos .....	91
Tabla 4. 8 Tabla de valores para las variables (k) y (Lo) modelo Ecuatoriano.....	95
Tabla 4. 9 Valores de (k) y (Lo) para el cálculo de la producción de biogás en el vertedero de basura.....	96

Tabla 4. 10 Porcentaje de Eficiencia de Captación de Biogás .....	96
Tabla 4. 11 Composición Química del Biogás .....	97
Tabla 4. 12 Desechos sólidos dispuestos desde el 2012 hasta el 2025.....	98
Tabla 4. 13 Proyecciones de generación y recuperación del biogás del vertedero Municipal de Latacunga – Cotopaxi.....	101
Tabla 5. 1 Comparación y características principales de las micro turbinas .....	106
Tabla 5. 2 Motores de Combustión Interna características principales .....	107
Tabla 5. 3 Características de las Celdas de Combustible .....	109
Tabla 5. 4 Aplicaciones previstas para distintos tipos de pilas de combustible. CHP: central heat and power; APU: auxiliary power units; UPS: uninterruptible power supply. .....	110
Tabla 5. 5 Matriz de Decisiones para la selección de la tecnología adecuada .....	112
Tabla 5. 6 Generación de Energía Eléctrica con el biogás recuperado del botadero de basura.....	114
Tabla 5. 7 Tabla de instalación de generadores en la central de acuerdo a los años de funcionamiento .....	116
Tabla 5. 8 Factor de planta de centrales de generación eléctrica .....	118
Tabla 5. 9 Potencia Firme disponible en centrales de Energía Renovables. ....	119
Tabla 5. 10 Estimación de la producción de energía eléctrica anual.....	120
Tabla 5. 11 Características técnicas motor-generador de energía proyectado .....	121
Tabla 5. 12 Costos referenciales para la instalación de una central eléctrica a biogás en USD por kW.....	126
Tabla 5. 13 Costos para la operación y mantenimiento de la central .....	127
Tabla 5. 14 Ingresos por venta de energía de la central eléctrica a biogás.....	128
Tabla 5. 15 Ingresos por la venta de los bonos de carbono .....	130

## INTRODUCCIÓN

Es de sobra conocido el hecho de que se producen diariamente grandes cantidades de desperdicios, tanto en las ciudades como en las zonas rurales. Teniendo en cuenta que la mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico y constituyen la denominada "Biomasa Residual", se puede llegar a comprender el hecho de que estas grandes cantidades de residuos, que no se aprovechan y que contaminan el ambiente, puedan constituir un enorme potencial para la producción de energía.

El presente estudio de investigación está orientado y desarrollado para determinar el potencial de la biomasa contenida en el vertedero de basura del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Latacunga y el aprovechamiento del biogás que se recuperara en un sistema de generación de energía eléctrica, la misma que será transportada por el alimentador dos de la Subestación (S/E) San Rafael hasta los consumidores finales administrados por la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., y finalmente determinar los costos de implementación de la propuesta.

La investigación consta de cinco capítulos:

El Primer Capítulo indica EL PROBLEMA el que hace referencia al planteamiento, formulación, objeto, justificación, los objetivos generales y específicos, y el enfoque de la investigación que se llevó a cabo.

El Segundo Capítulo establece el MARCO TEÓRICO que describe de manera general, la teoría para desarrollar la investigación, enunciando los conceptos básicos relacionados con las energías renovables específicamente la Biomasa, generación de energía eléctrica, formación, composición y propiedades del biogás y las experiencias alcanzadas en rellenos sanitarios en Ecuador como por ejemplo Pichacay en Cuenca y todo el marco legal que rige en nuestro país.

En el Tercer Capítulo se encuentra la METODOLOGÍA del trabajo de investigación, el estudio se considera una investigación de campo, in situ con investigación documental, cualitativa y cuantitativa indicando las características y composición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de las ciudad lugar de la investigación, se analiza los modelos predictivos que hay para la evaluación de los rellenos sanitarios, se analiza y evalúa las

condiciones del sitio donde se evalúa el proyecto, la empresa EPAGAL, ubicación geográfica, superficie, vías de acceso y descripción del software modelo de biogás para Ecuador.

En el Cuarto Capítulo se presenta EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS, aquí describiré los principales parámetros y valores que son necesario para ingresar en el software indicado, como la temperatura, precipitaciones, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, nubosidad, evaporación, composición de los RSU del cantón Latacunga, modelo utilizado. Valores que son ingresados al programa correspondiente y del cual se obtuvo los datos de producción de biogás que se puede obtener en el botadero de basura.

En el Quinto Capítulo se presenta la PROPUESTA, una vez que se determinó la cantidad de biogás que se puede extraer del botadero, con esta información y de acuerdo a las tecnologías existentes se analizó y determino el tipo de planta de generación eficiente y con menos costo que puede ser instalada al pie del botadero, captar, generar y esta energía entregar en las redes de distribución de la empresa eléctrica.

Por último se presenta conclusiones y recomendaciones generales en el desarrollo de la investigación.

## **CAPITULO 1: EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Si el siglo XX se movió con energías sucias, como el petróleo, el gas o el carbón, en el XXI se abren las puertas a energías verdes, éstas que además de limpias son inagotables se perfilan como la gran solución para un mundo que devora cada vez más kilovatios y combustible.

Desde la revolución industrial, el petróleo, el gas y el carbón, junto con la energía nuclear, han movido el mundo si seguimos consumiendo al ritmo actual, el cambio climático acabará con la humanidad.

Desde que nos levantamos hasta que nos acostamos e incluso mientras dormimos estamos consumiendo energía, ésta es indispensable y no solo para las sociedades actuales sino también para las generaciones futuras. El ser humano descubrió el fuego y, con la madera como combustible cocinaba y se calentaba con él, desde tiempos remotos ha utilizado además de su propio esfuerzo físico, el de algunos animales domésticos para obtener esa energía, creó la rueda que unida a la fuerza del viento y el agua, le proporcionaba energía mecánica.

Con la revolución industrial que comenzó en el siglo XVIII en Inglaterra, y continuó en casi todo el mundo en el siglo XIX, el modelo energético empleado hasta entonces se desmoronó y otras fuentes de energía, como el carbón arrancaron con fuerza. En 1859 se realizó en los Estados Unidos la primera perforación petrolífera.

Se inició así la fiebre del oro negro que dura hasta nuestros días, en poco tiempo el carbón, los hidrocarburos y la energía nuclear desbancaron a las otras fuentes que se usaban hasta este momento, para ello fue necesario un espectacular desarrollo tecnológico que va desde la máquina de vapor al reactor nuclear, pasando por el motor de explosión y el generador eléctrico.

“El último informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) los consumos de energía han crecido en un 40% con un promedio del 2.4% anual, el petróleo es el combustible más usado con un 34,6% le sigue el gas natural con el 22,1% y por último el carbón con el 28,4%, es decir que el

85,1% de la demanda mundial proviene de los combustibles fósiles, determinándose que este tipo de energía es responsable del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero que están afectando a la capa de ozono y aceleran el calentamiento global.

Mientras tanto las denominadas fuentes de energía renovables conocidas así por su capacidad ágil y natural de autogenerarse, cubren apenas el 12,9% de la demanda mundial de energía, dividida de la siguiente manera: biomasa energía generada con elementos orgánicos derivados de cultivos 10,2%; generación hidráulica 2,3%; energía eólica 0,2%; geotérmica y solar 0,2% y el restante 2% se generó mediante fuentes nucleares, cifras determinadas según datos del 2008. Estos porcentajes evidencian la necesidad de que los países ejecuten políticas y programas que permitan reducir la dependencia al uso de combustibles fósiles considerados como los más contaminantes.

El desarrollo de fuentes de energía renovables es prioritario para evitar y reducir el calentamiento del planeta, según el Informe sobre Desarrollo Humano del 2011 del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que afirma que los apremiantes desafíos globales de sostenibilidad y equidad deben tratarse de forma conjunta y al mismo tiempo, identifica aquellas políticas a nacionales y globales que podrían dar un impulso a la consecución de estos objetivos vinculados.

En el caso de Ecuador, la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) indica en su página web que la producción de energía del Ecuador fue en su mayor parte de origen hidroeléctrico 11.294 GWh, fuente considerada como renovable por la ONU, seguida por la energía generada con petróleo 5.538 GWh y el gas 1.356 GWh,

En esto se evidencia que la producción de energía proveniente de otras fuentes consideradas por la ONU como más limpias, como la eólica 3 GWh, impulsada por el viento; y la biomasa 418 GWh, fue mínima durante el 2008". [1]

De acuerdo a la problemática de la conservación ambiental, y el esfuerzo por enfocar hacia nuevas fuentes de energía limpia, con este estudio se tratara de evaluar el desaprovechamiento del potencial energético contenido en la biomasa que se dispone en el botadero de basura de propiedad del Ilustre Municipio del Cantón Latacunga de

la provincia de Cotopaxi, ubicado en la parroquia urbana de Eloy Alfaro, en el sector de Chugchilán a 7 Km del centro de la ciudad de Latacunga y en base a estos volúmenes de desechos proponer un sistema eficiente para el aprovechamiento de estos gases a través de la generación de energía eléctrica. Y con este aporte disminuir el uso de combustibles fósiles que emiten gases de efecto invernadero y que están provocando el calentamiento global.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Desaprovechamiento del potencial energético de la biomasa disponible en el vertedero de basura de la ciudad Latacunga y la posibilidad de uso de la misma en un sistema de generación de energía eléctrica.

## **1.3 OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

Potencial energético de la biomasa a través de los desechos disponibles en el vertedero de basura de la ciudad Latacunga ( $KWh/m^3$ ).

## **1.4 JUSTIFICACIÓN Y SIGNIFICACIÓN**

Las fuentes de energía natural han existido desde el inicio de la vida en el Planeta, con la evolución del hombre y la necesidad de investigación del mismo han surgido muchas tecnologías que han permitido el aprovechamiento de estas fuentes naturales, es así que el uso del viento, el agua, la energía geotérmica, la energía irradiada por el sol y el aprovechamiento de la descomposición de los desechos orgánicos han permitido propender a la producción de energía más limpia, y con esta producción tender a la disminución de las emisiones de  $CO_2$  a la atmosfera, las mismas que se emiten al usar los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica a través de las centrales Térmicas.

Con la investigación y el desarrollo de este tema podremos aportar en forma global la experiencia adquirida y que podrá ser base para futuras investigaciones dentro del ámbito de la energía por Biomasa.

La cuantificación de la producción de desechos orgánicos que se generan en forma general en la ciudad de Latacunga de la Provincia de Cotopaxi, permitirá realizar un



control adecuado de estos desechos los que se convertirán en combustible para la generación de energía eléctrica, con esto se reducirá la contaminación ambiental, se minimizará las emisiones del gas metano  $CH_4$  y otros gases como el  $CO_2$  a la atmósfera, con dicha reducción se podrá detener en algo el calentamiento global.

El desarrollo de este sistema de generación de energía permitirá a futuras generaciones encontrar una metodología que pudieran mejorarla para hacer más eficientes estos sistemas y aprovechar de mejor manera estas fuentes de energía naturales que nos brinda la naturaleza, dentro de esta investigación se hizo énfasis a las diversas formas de lograr conseguir el mejor método para la descomposición de los desechos y el aprovechamiento de los gases que se generaran en estos procesos.

La disminución de la contaminación atmosférica y del entorno natural permite que este proyecto sea factible considerando que se lograra aprovechar todo el potencial energético de la biomasa disponible en el botadero de basura con la posibilidad del uso del mismo en un sistema de generación de energía eléctrica.

## **1.5 HIPÓTESIS**

Tomando en cuenta el potencial energético de la materia orgánica del botadero de basura en el sector de Chugchilán del GAD Latacunga en su proceso de descomposición la producción de gas natural, se puede considerar el aprovechamiento de dichos compuestos, los cuales sometidos a alta presión pueden producir gas metano  $CH_4$  suficiente para la generación de energía eléctrica, la misma que podría ser entregado en la red de distribución de la Empresa Eléctrica y pueda ser utilizada para alimentar aparatos eléctricos.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 OBJETIVOS GENERALES**

1. Diagnosticar el potencial  $KWh/m^3$  y la energía asociada de la biomasa vertida en el botadero de basura de Latacunga.
2. Proponer un sistema eficiente para la generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás disponible.

## **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estudiar las principales características y composición de la biomasa, como también el biogás al considerar una fuente de energía limpia, para sustentar una base teórica que permita analizar la instalación de centrales de generación eléctrica.
2. Modelar un modelo matemático que nos permita cuantificar la cantidad de metano que se podría obtener en el botadero de basura.
3. Cuantificar los recursos desechados en el vertedero de Latacunga.
4. Determinar la energía asociada a la biomasa vertida en el botadero de basura.
5. Evaluar, sobre la base de la energía asociada a la biomasa, las características del sistema más probable para la generación eficiente de energía eléctrica.
6. Establecer los parámetros de diseño del sistema de generación de energía eléctrica más factible.
7. Argumentar la factibilidad económica, social y ambiental de la propuesta.

## **1.7 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El proyecto de investigación propuesto está enfocado a la influencia sobre varios aspectos como los económicos y sociales, por lo que se considera viable ya que está destinado a la producción de energía eléctrica, producción que usara como combustible el biogás como el metano generado de la descomposición de los desechos orgánicos y que con ello no se permitirá su emisión a la atmosfera, y por otra lado se reducirá el uso de combustibles fósiles, los que son utilizados en la generación térmica, y como finalidad específica la reducción de la contaminación ambiental.

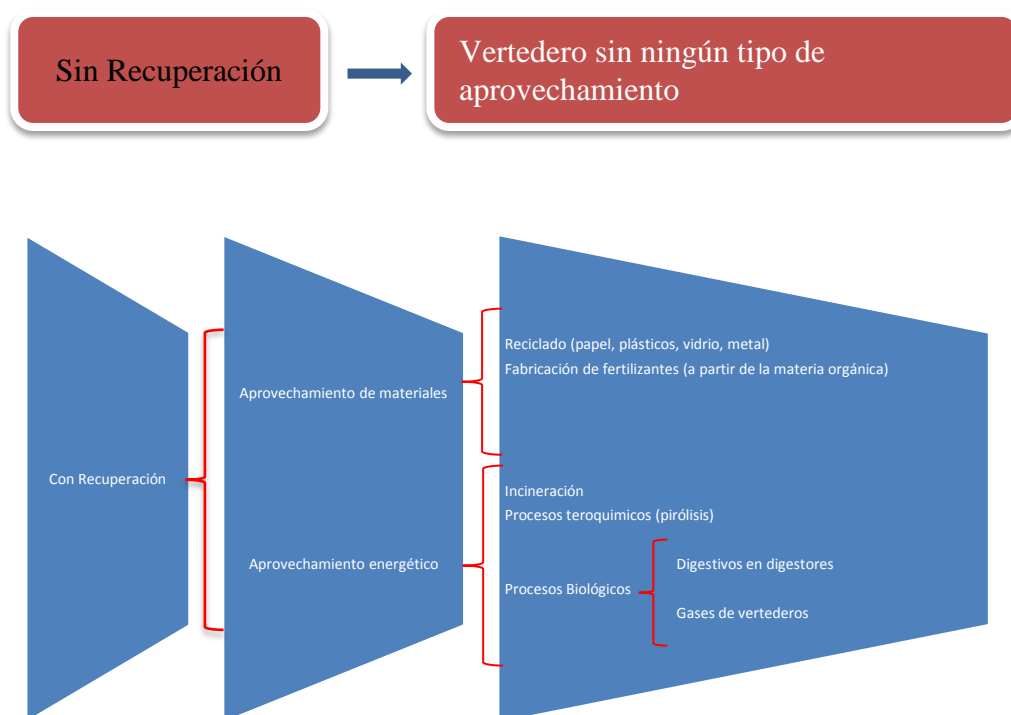
El proyecto se basa en la investigación documental, respecto a la información técnica de las fuentes de energía no renovables principalmente enfocado a la generación de energía a través de la Biomasa disponible en el botadero de basura del GAD Municipal de Latacunga y la investigación de campo para confirmar y determinar la zona de aplicación convirtiéndose en una investigación cualitativa y cuantitativa.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La producción de RSU se originan básicamente como resultado de la actividad humana en los domicilios, restaurantes, escuelas, y también se suelen incluir los residuos que se generan en pequeñas industrias cuyos residuos no tienen tanta utilidad.

El incremento del consumo de alimentos, artículos de uso personal, entre otras cosas en este mundo desarrollado ha conllevado al incremento en la generación de residuos sólidos que amenaza al medio ambiente. Cada vez estos desechos están ocasionando grandes contaminaciones al medio ambiente en tal virtud es necesario tomar algunas acciones enfocadas en destruir o ver el aprovechamiento de estos residuos, para lo cual existen varias opciones para eliminar los RSU, entre éstas se encuentra la recuperación energética como se puede ver en la figura 2.1.



**Figura 2. 1 Recuperación energética de los RSU**

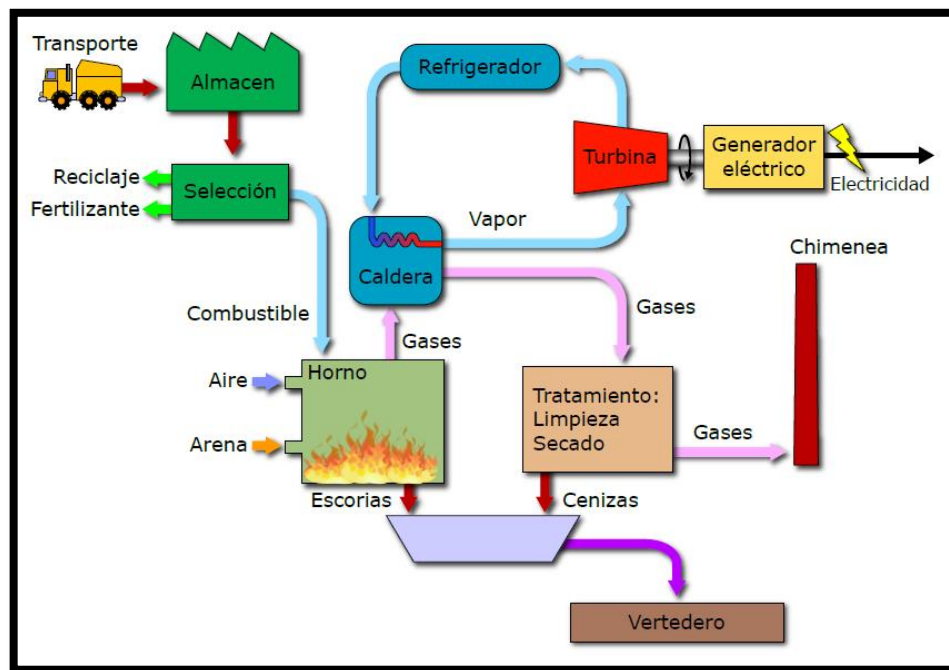
**Fuente:** [http://ephyslab.uvigo.es/index.php/download\\_file/view/83/](http://ephyslab.uvigo.es/index.php/download_file/view/83/)

Existen diversos procesos a que pueden someterse los RSU con el propósito de extraer su energía química almacenada, sin embargo, debido a las características particulares

de estos residuos composición muy heterogénea, existen procesos los cuales se centran fundamentalmente en los pre-tratamientos y post-tratamientos empleados.

La composición física de los RSU es muy variada y depende de muchos factores, una composición típica suele estar integrada por un porcentaje alto 50% de materia orgánica que es fermentable; otro porcentaje también relativamente alto 35%, de material con la propiedad de ser combustible como papel, cartón, maderas, textiles, plásticos y otros más, el resto constituido por materiales tales como vidrios, metales, entre otros.

El proceso de recuperación energética más ampliamente utilizado desde hace décadas es la incineración proceso indicado en la figura 2.2, los camiones una vez recogidos los residuos se encargan de transportarlos hasta la planta incineradora donde los vierten en un foso de almacenamiento.



**Figura 2. 2 Esquema conceptual del proceso de incineración de RSU**

**Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>**

Dependiendo del tipo de instalación los residuos pueden pasar a alimentar los hornos o pueden ser sometidos previamente a procesos de separación en distintos tipos de

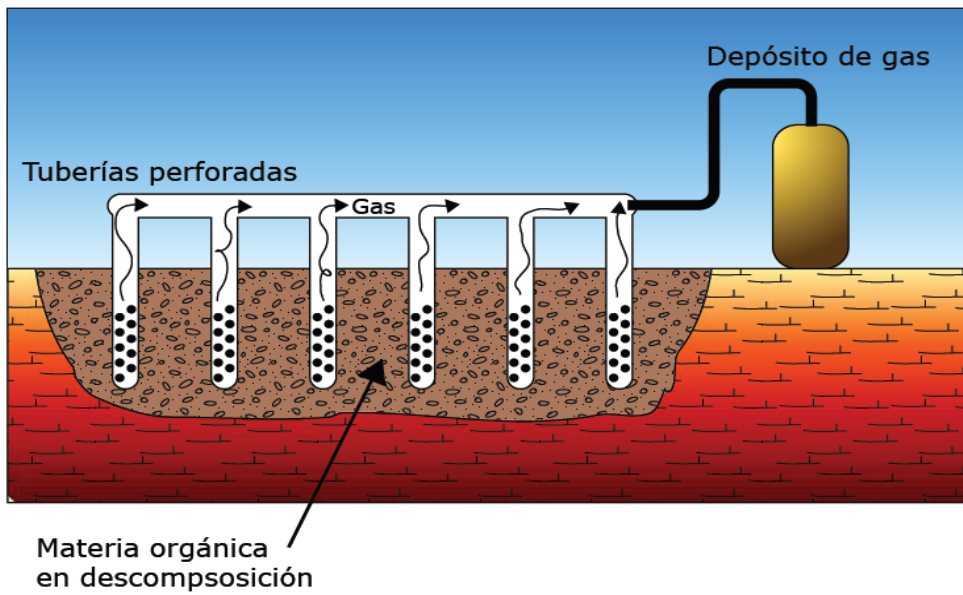
materiales, con el propósito de reciclar parte del material si antes no han sufrido una selección en su origen, y/o destinar la materia orgánica a la fabricación de fertilizantes.

En el horno de los que existen varios tipos parrillas, rotativos, lecho fluido, se lleva a cabo la combustión de los residuos transmitiéndose el calor generado por los gases producidos a una caldera donde el agua que circula por sus tubos se convierte en vapor de agua, este vapor puede emplearse para accionar una turbina de vapor la cual mueve un generador eléctrico que se encuentra mecánicamente acoplado a la misma. El vapor una vez cedida la presión a los álabes de la turbina, se condensa, bien en una torre de refrigeración o en un condensador refrigerado por aire, este tipo de proceso se lleva a cabo en varias plantas en algunos países de Europa, América, como por ejemplo la planta incineradora en Malmö en Suecia.

La combustión, debido a la diversidad de materiales que componen el combustible como basura mezclada con arena, dolomita y calizas como neutralizantes se lleva a cabo con exceso de aire para lograr la combustión completa. Los gases producidos en la combustión de los residuos deben de ser tratados antes de ser expulsados a la atmósfera, a través de una chimenea, estos tratamientos tienen como objetivo depurar los gases mediante la eliminación de sus contaminantes, fundamentalmente las sustancias tóxicas como dioxinas y furanos.

Los métodos típicamente empleados en el tratamiento de los gases son dos: pulverización de reactivos semi-húmedos agua y cal, con filtrado de partículas, lavado y secado de gases. Los residuos recogidos de estos tratamientos pueden a su vez ser tratados, es decir, las escorias de la combustión y las cenizas de los tratamientos de los gases generados se trasladan a un vertedero de seguridad.

Por otra parte la materia orgánica enterrada en los vertederos o rellenos sanitarios sufre un proceso de descomposición que da lugar a la generación de gas metano, este gas puede ser captado mediante la perforación de pozos y la instalación de tuberías que permiten recogerlo, figura 2.3, conducirlo hasta la superficie en donde se pueda almacenarlo tratarlo y luego utilizarlo en la generación de energía eléctrica, calentamiento de agua.



**Figura 2. 3 Esquema conceptual de la recuperación y aprovechamiento de gases de vertedero.**

**Fuente:** [http://ephyslab.uvigo.es/index.php/download\\_file/view/83/](http://ephyslab.uvigo.es/index.php/download_file/view/83/)

Asimismo, Highland Energy Inc., ha desarrollado un sistema de energía modular para convertir el gas de invernadero en energía eléctrica Figura 2.4.



**Figura 2. 4 Sistema modular de conversión de gas de invernadero en energía eléctrica (Highland Energy Inc)**

**Fuente:** <http://www.economiadelaenergia.com/2011/03/biomasa/>

## **2.2 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES**

El proyecto se basó especialmente en el diagnóstico del potencial de la biomasa que se produce de los desechos sólidos que se generan en los sectores urbanos y rurales del cantón Latacunga, basado en estos valores se pudo establecer la cantidad de biogás que se puede obtener de dicha materia orgánica y la cantidad de energía que se puede generar con el combustible recuperado.

## **2.3 FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.3.1 ENERGÍAS RENOVABLES**

Se conoce como energía renovable a toda aquella energía que se la obtiene de fuentes naturales prácticamente inagotables, se las denomina renovables ya que están en permanente renovación por medios naturales, la renovación de estas energías es posible ya que dependen de ciclos cerrados los cuales a su vez dependen de factores externos a la corteza terrestre, que es la capa terrestre donde se aprovechan las energías renovables.

Una gran variedad de energías dependen directamente o indirectamente del ciclo solar, la energía solar se manifiesta en diferentes formas estas diversas manifestaciones han sido aprovechadas por el ser humano para su propio beneficio.

La energía solar o irradiación solar es el motor fundamental para el movimiento de grandes masas de agua y aire así como el responsable directo de la vida, las formas de energías eólica, hidráulica, fotovoltaica, biomasa, térmica, etc. son energías que dependen de alguna manera de la energía proveniente del sol.

Estos diversos tipos de energías renovables han sido aprovechados por el ser humano desde tiempos ancestrales para los más variados fines, se las ha utilizado con el objetivo de facilitar y brindar comodidad a las sociedades a través de la historia.

Otro tipo de energía renovable es la geotérmica, este tipo de energía se la obtiene del calentamiento interno de la tierra, es la energía que se emite desde el centro del planeta tierra hacia sus capas exteriores.

Los océanos son masas de agua gigantes que se encuentran en constante movimiento, el movimiento de esta gran cantidad de agua se produce de dos formas: el movimiento total de la masa de agua, es decir toda la masa de agua se mueve como un solo cuerpo de lado a lado fenómeno llamado marea.

Las mareas son causadas por el acercamiento o distanciamiento de la luna con respecto a nuestro planeta La Tierra, el aprovechamiento de la energía producida por las mareas se denomina energía mareomotriz.

Además de la energía mareomotriz, existen otros tipos de energías renovables que tienen origen en los mares y océanos, la energía undimotriz aprovecha el movimiento superficial del agua de los océanos, el movimiento de las olas; la energía maremotérmica que aprovecha la diferencia de temperaturas a diferentes profundidades del mar.

El movimiento superficial que se produce debido a las corrientes de aire que chocan con el agua da lugar a la energía undimotriz, el agua se eleva formando una especie de ondas u olas, al ser el viento el causante directo de las olas se concluye que la energía de las olas es también un tipo de energía solar. La energía de gradiente térmico marino o maremotérmica basa su funcionamiento en el calentamiento de la superficie marina debido a la radiación solar.

La clasificación de las energías renovables no tiene un consenso, una corriente de especialistas denominan como energía solar únicamente a las formas directas de incidencia solar, otros sostiene que todas las energías renovables se relacionan de alguna forma con el sol.

### **2.3.2 ENERGÍA DE LA BIOMASA**

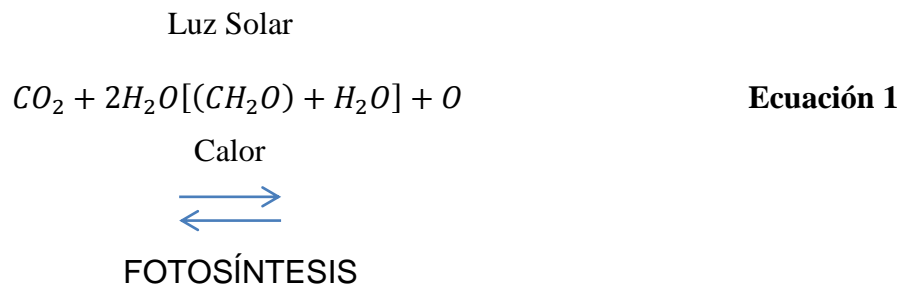
La energía producida a través de la Biomasa surgió en un inicio como un complemento a las energías tradicionales, actualmente, con las consecuencias que han tenido especialmente los combustibles fósiles en el medio ambiente, la energía de la Biomasa se ha convertido en una alternativa potencial como sustituto de las energías tradicionales.



“Se considera como Biomasa a todo tipo de material orgánico no fósil que pueda ser convertido en energía a través de un proceso previo de transformación. La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales; tales como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas, forestales, basura industrial y humana, resultado del proceso de conversión fotosintético.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales que se alimentan de plantas u otros animales, o en los desechos que producen, se llama bioenergía.

Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis.



Este proceso de captación de energía solar y acumulación en plantas y árboles como energía química es un proceso bien conocido. Los carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar.

Al momento de su formación cada átomo gramo de carbono 14 gr absorbe 112 kcal de energía solar, que es precisamente la que después se recupera, en parte con la combustión de la celulosa o de los combustibles obtenidos a partir de ella gas, alcohol, etc.”[2].

### **2.3.3 EL USO DE LA BIOMASA PUEDE SER DIRECTA O INDIRECTA**

La utilización de la biomasa de manera directa es la energía más común que proviene del sol y ha sido utilizada desde tiempos ancestrales principalmente para la calefacción o cocción de alimentos y a través de la historia su campo de acción se ha incrementado considerablemente.

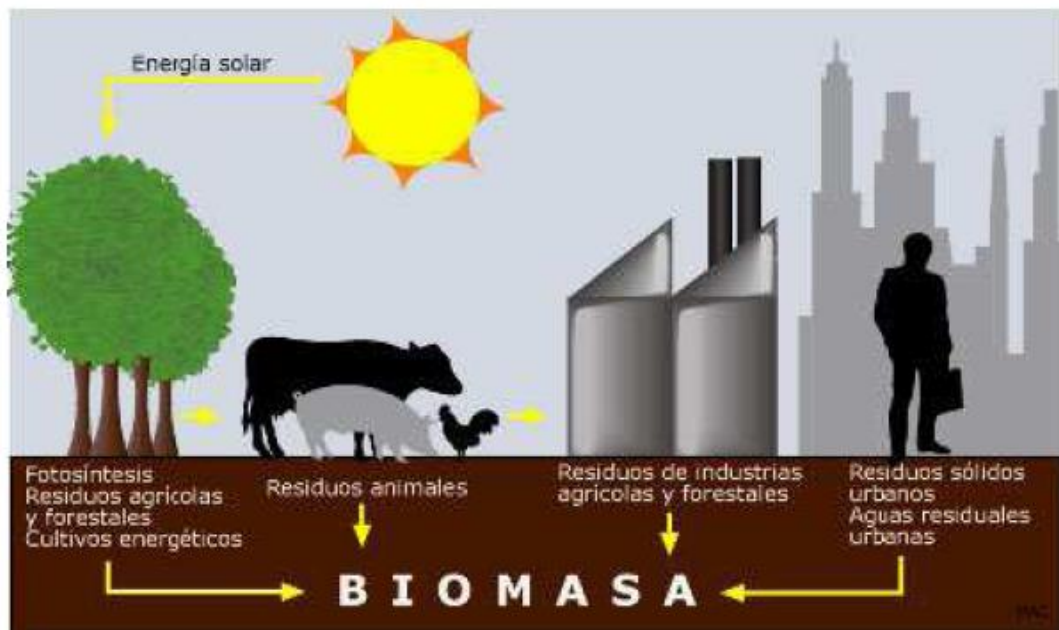
La utilización indirecta es mucho más reciente. La biomasa utilizada de forma indirecta produce principalmente combustible líquido o gaseoso y abono. Los combustibles son utilizados para generar electricidad, de esta forma la utilización indirecta puede cubrir todos los campos de la directa y muchos más.

“La energía neta disponible en la biomasa por combustión es de alrededor de 8 MJ/kg para la madera verde, 20 MJ/kg para la materia vegetal seca en horno, 55 MJ/kg para el metano; en comparación con cerca de 23 a 30 MJ/kg para el carbón. La eficiencia del proceso de la conversión se determina cuánto la energía real puede ser utilizada en forma práctica”. [2]

Dentro de este gran conglomerado energético se debe determinar qué tipo de biomasa es la más adecuada para la producción de energía eléctrica.

Sin embargo la biomasa es considerada como fuente energética tradicional hasta mediados del siglo XX, la aparición y utilización en forma masiva de los combustibles fósiles fue dejando a un lado la utilización de biomasa como recurso energético. Esto se debió principalmente al altísimo poder calórico que presentaban los combustibles fósiles en comparación con la biomasa, la producción a gran escala, el bajo costo y la facilidad de transportar a grandes distancias de los combustibles fósiles incidieron para que la utilización de la biomasa como fuente energética disminuya drásticamente. La madera o leña de las diferentes especies de árboles ha sido la biomasa más utilizada, principalmente como fuente de energía calórica. La combustión parcial a temperaturas adecuadas permite la creación de carbón de madera, el cual tiene gran demanda para diversos usos. Además de la biomasa de los árboles existe una gran variedad de biomasa poco conocida, como los residuos de los animales, desechos sólidos urbanos, residuos industriales, aguas residuales urbanas,

en el gráfico 2.5 se pueden visualizar el origen de la biomasa que hoy en día se conoce.



**Figura 2.5 Origen de la biomasa que se conoce.**

**Fuente:** [http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.36.01.02\\_1r.html](http://www.ambientum.com/enciclopedia/energia/4.36.01.02_1r.html)

### 2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

- **“La biomasa natural** es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, la caída natural de ramas de los árboles poda natural en los bosques.
- **La biomasa residual** es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas poda, rastrojos, etc., silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc. y en la industria de transformación de la madera aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc., así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.
- **Los cultivos energéticos** son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel, existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales, herbáceos y cosechas”. [3]

### 2.3.5 CONVERSIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA

- **Métodos termoquímicos** basados en la utilización del calor como fuente de transformación, adaptados al caso de la biomasa seca, en particular a la paja y la madera.
- **La combustión** que es la oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire, libera simplemente agua y gas carbónico, puede servir para la calefacción doméstica y para la producción de calor industrial.
- **La pirolisis** es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno a unos 500 grados centígrados, utilizado desde hace mucho tiempo atrás para la producción de carbón vegetal. La pirolisis lleva a la liberación de un gas pobre una mezcla de monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos ligeros. Este gas débil de poder calórico puede servir para accionar motores diesel, producir electricidad o mover vehículos. La variante de la pirolisis llamada pirolisis flash llevada a 1000 grados centígrados en menos de un segundo, tiene la ventaja de asegurar una gasificación casi total de la biomasa.

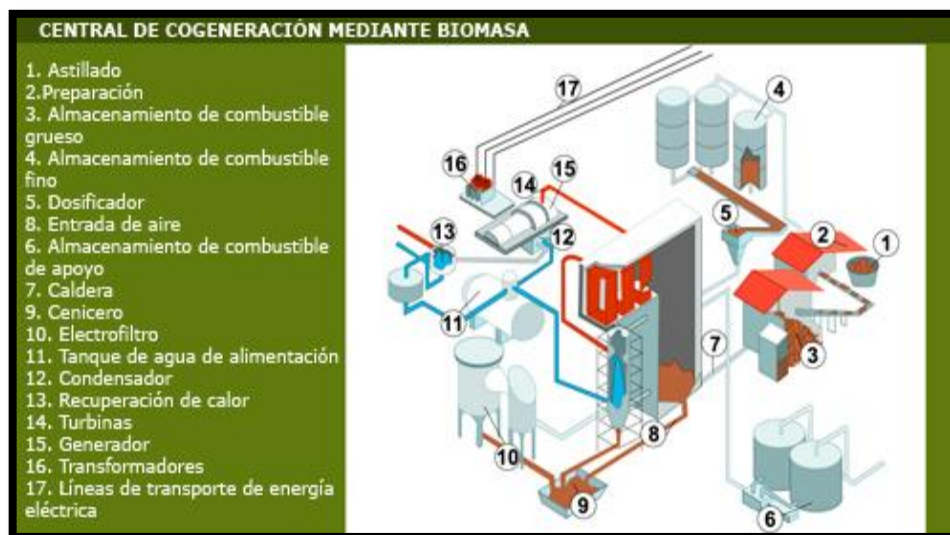
De todas formas la gasificación total puede obtenerse mediante una oxidación parcial de los productos no gaseosos de la pirolisis. Las instalaciones en la que se realizan la pirolisis y la gasificación de la biomasa reciben el nombre de gasógenos.

Este gas pobre se lo puede utilizar como se indicó anteriormente, o puede servir como base para un alcohol, el metanol que podría convertirse en sustituto de las gasolinas como combustible Carburol para los motores de explosión.

- **La Gasificación** consiste en realizar una combustión incompleta sobre un material compuesto principalmente por carbono, de tal forma que se obtiene un gas que sigue siendo combustible. Este gas después de ser limpiado puede ser quemado en una caldera de gas o en un motor de combustión interna, una turbina o micro turbina de gas y en una celda de combustible para transformar la energía contenida en el gas en energía eléctrica. [4]

### 2.3.6 CENTRAL DE BIOMASA

La central de biomasa tiene el mismo principio de funcionamiento de una central térmica, con la particularidad que el combustible que usa es material de origen biológico, gracias a la combustión de la materia orgánica que puede ser material de desecho agrícola, residuos de poda de árboles, desechos sólidos dispuestos en vertederos o rellenos sanitario, se produce el calor suficiente para que circule vapor de agua a través de una turbina que mueve un generador eléctrico y este produce la energía eléctrica, en la figura 2.6 se ve un esquema de una central de biomasa que genera electricidad.



**Figura 2. 6 Central de biomasa**

Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/elvicon/nivel1/index.php?opcionSelec=112>

También se cultivan plantas con la finalidad de ser utilizadas como combustible, creando puestos de trabajo en zonas rurales, a la vez que se ayuda a combatir el efecto invernadero, gracias al CO<sub>2</sub> que absorben durante su desarrollo.

Básicamente el funcionamiento de una central es el siguiente:

1. La biomasa recogida se prepara para transformarla en combustible líquido.
2. Este combustible se quema y se calienta agua.

3. Se produce vapor a alta presión que mueve la turbina y esta a su vez mueve el generador que producirá energía eléctrica.
4. La energía eléctrica producida es transportada por el tendido eléctrica.
5. El calor producido por el vapor se transmite en forma de agua caliente.

### 2.3.7 ENERGÍA A PARTIR DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU)

Para el aprovechamiento de la energía de los RSU se lo puede efectuar de dos maneras: la primera por combustión del biogás generado en los vertederos controlados y la segunda aprovechando el poder calorífico propio de los residuos en una combustión directa, la suma de los dos procesos claramente establece que la fuente de materia prima tan importante la constituyen los residuos sólidos urbanos.

Hasta el año 2007 alrededor del planeta se tenía 600 plantas que aprovechan el biogás que se genera en los rellenos sanitarios para la generación de energía eléctrica, en la tabla 2.1 se puede ver la distribución de las plantas en todo el mundo.

**Tabla 2. 1 Plantas de generación de energía eléctrica utilizando el biogás.**

CONTINENTE	Nº PLANTAS	POTENCIA (MW)	MILLONES TON/AÑO
AMÉRICA DEL NORTE	89	3000	29
EUROPA	400	34000	48
ASIA Y RESTO	130	7000	37

[http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/PaulaEstevez\\_VersionFinal3.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/PaulaEstevez_VersionFinal3.pdf)

### 2.3.8 FORMACIÓN DEL BIOGÁS EN UN RELLENO SANITARIO

La generación del biogás en los rellenos sanitarios es una mezcla de varios gases como el metano, dióxido de carbono los cuales están presentes en mayor porcentaje, la biomasa tiene que pasar por un proceso de descomposición de los desechos orgánicos conocido comúnmente como degradación bacteriana para lo cual tiene que cumplir los siguientes pasos:

- Pasó 1, las bacterias aeróbicas generan mayor dióxido de carbono y agua.

- Paso 2, la hidrólisis y acetogénicos degradan largas cadenas orgánicas, proceso que produce el amonio, dióxido de carbono, hidrogeno, agua y calor.
- Paso 3, las bacterias metano génicas utilizan el producto degradado del paso 1 para la producción de metano y dióxido de carbono.
- Paso 4, los valores de la acetogénesis/hidrólisis están en equilibrio con el metano génesis.
- Paso 5, Se agota el sustrato orgánico e inicia la discontinuación gradual del proceso biológico y hace que el aire empiece a reemplazar al biogás dentro de los desechos.

### 2.3.9 COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS DE UN RELLENO SANITARIO

Dentro de la generación del biogás al interior de los rellenos sanitarios, este gas está formado principalmente del gas metano  $CH_4$  y del dióxido de carbono  $CO_2$  que son los de mayor porcentaje que intervienen en el mismo, esta composición depende de la biomasa utilizada, en la tabla 2.2 se puede ver los principales componentes del biogás.

**Tabla 2. 2 Composición del biogás en función de la biomasa usada.**

Gases	Desechos Agrícolas	Lodos Cloacales	Desechos Industriales	Relleno Sanitario	Propiedades
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%	Combustible
Dióxido de carbono	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%	Ácido, asfixiante
Vapor de agua	saturación	saturación	saturación	saturación	Corrosivo, reduce valor calorífico
Hidrógeno	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%	Combustible
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm	Corrosivo, tóxico, oloroso
Amoníaco	trazas	trazas	trazas	trazas	Corrosivo
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	trazas	Tóxico
Nitrógeno	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%	Inerte
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%	Corrosivo
Orgánicos	trazas	trazas	trazas	5 ppm (hidrocarburos)	Corrosivo, oloroso

Fuente. <http://jmirez.wordpress.com/2012/05/15/j473-caracteristicas-del-biogas/>

### 2.3.10 PROPIEDADES DEL BIOGÁS DE UN RELLENO SANITARIO

Todas las propiedades contenidas en el biogás está en función de la presión, temperatura, humedad del material, tipos de desecho, tamaño de las partículas, técnicas de compactación en los rellenos sanitarios entre otros más.

Los principales factores que caracterizan al biogás son:

- Al cambio de la presión y la temperatura, en el biogás cambia su volumen.
- Al variar la temperatura, la presión y el contenido del agua, en el biogás cambia su valor calorífico, y
- El valor del contenido de vapor de agua cambia cuando la temperatura y la presión sufre variaciones en su magnitud.

El **valor calorífico** del biogás generado en los rellenos sanitarios y en los vertederos tiene muchas impurezas como agua, dióxido de carbono las mismas que provocan que la magnitud de su valor calorífico sea muy bajo, por lo tanto para mejorar su valor es necesario realizar una purificación del mismo con la finalidad de eliminar dichas impurezas y así lograr tener valores caloríficos más altos, en la tabla 2.3 se puede observar los valores de biogás crudo y depurado, y valores mejorados en el rendimiento en su valor calorífico.

**Tabla 2. 3 Valor Calorífico del Biogás crudo y depurado**

Parámetro	Unidad	Biogás crudo	Biogás depurado	
			Sin H <sub>2</sub> S	Sin H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
CH <sub>4</sub>	%	60	61,4	98
CO <sub>2</sub>	%	37	37,7	≤ 2
H <sub>2</sub> O	g/m <sup>3</sup>	>13,5	6,36	0,05
H <sub>2</sub> S	mg/m <sup>3</sup>	500	≤ 5	≤ 5
Temperatura	°C	36	4	4
Poder Calorífico	kWh/m <sup>3</sup>	6,62	6,78	10,8
Densidad	Kg/m <sup>3</sup>	1,17	1,19	0,72
Índice de Wobbe	kWh/m <sup>3</sup>	6,92	7,03	14,4

Fuente:

[http://213.229.136.11/bases/ainia\\_probiogas.nsf/0/E7335CFC81BF4BC0C125773D002A60C2/\\$FILE/Cap4.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/E7335CFC81BF4BC0C125773D002A60C2/$FILE/Cap4.pdf)



### **2.3.11 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RELLENOS SANITARIOS**

Dentro de los objetivos en el protocolo de Kioto esta determinación de la cantidad de biogás que se puede obtener en los sitios de disposición final de los residuos sólidos generados y recolectados en las grandes ciudades, de hecho es fundamental realizar una evaluación de la contribución de los rellenos sanitarios, botaderos y plantas de compostaje a lo largo del tiempo por la producción de biogás. [5] Por lo que la evaluación de las emisiones de biogás en los rellenos sanitarios es definitivamente muy compleja, porque en la misma existen múltiples fuentes con una alta variabilidad espacial y temporal.

Dentro del análisis de los rellenos sanitarios se debe destacar que existen dos fases en la vida útil de estos, la primera establecida en su funcionamiento cuando los sólidos urbanos son depositados y degradados en dichos lugares y la segunda etapa de clausura al alcanzar la máxima capacidad de almacenamiento de los residuos sólidos. En su fase de operación los rellenos emiten la mayor cantidad de metano posible en relación a los clausurados debido a que la degradación de la materia orgánica lo cual ocurre en la gran mayoría en los primeros años de funcionamiento de los rellenos sanitarios.

Luego del cierre un relleno sanitario continuará con la generación y emisión del biogás por cientos de años más aunque la producción de biogás en las primeras etapas de vida puede ser mínima durante varios meses, y cuando alcance una vida útil media o recién clausurado la producción puede alcanzar su máxima capacidad alargando su producción por varios años hasta después de haberlo clausurado.

De los análisis y experiencias realizadas se establece que la cantidad de biogás generado a partir de una tonelada de carbono biodegradable equivale a  $1868 Nm^3$  (Normal =  $Nm^3$  de metros cúbicos), para los países industrializados este valor es de aproximadamente  $370 Nm^3$ , aunque esta cantidad está determinado por varios factores indicando que se carece de datos para países en desarrollo, debido a estos inconvenientes y la degradación biológica incompleta se asume un valor máximo

aproximado de 200 Nm<sup>3</sup> de biogás que se puede producir de una tonelada de residuos sólidos urbanos dispuestos en un relleno sanitario municipal. [6]

## **2.4 EL RECURSO BIOMASA EN ECUADOR**

El Ecuador es un país en donde su economía depende en gran medida del sector agrícola, el cual hasta antes del boom petrolero fue el sector que mayores ingresos generó. En la región de la costa se pueden encontrar grandes bananeras con muchas variedades, palma Africana, caña de azúcar, cacao, arroz, maíz, etc., además de cultivos dirigidos, y grandes extensiones de bosques.

En el proceso de cosecha se recogen todo lo que la tierra produce, Los frutos separados de los tallos se transportan hasta las agroindustrias en donde se encargan de separar la parte comestible sean estos de la tusa, corteza, cáscara, raquis, fibra, etc., dependiendo del fruto que esté siendo procesado.

Una cantidad sumamente importante de biomasa residual lo constituye los desechos orgánicos de la cosecha, el procesamiento en las plantas agroindustriales, las ramas y hojas que caen de los árboles.

Muchas veces esta biomasa es utilizada como abono, balanceado, camas para animales, y otra aplicación importante es la generación eléctrica utilizando algunos mecanismos, como por ejemplo la generación en el ingenio San Carlos en la provincia del Guayas, cantón Marcelino Maridueña.

En Ecuador el bagazo de la caña de azúcar es el único tipo de biomasa que se utiliza hoy en día para generar electricidad, sin embargo existen grandes cantidades de desechos que se pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica.

### **2.4.1 USO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE**

La biomasa es otro de los recursos que proyecta un potencial muy grande para el futuro, con el aprovechamiento de la biomasa residual vegetal. Los primeros registros de este recurso plantean un panorama realmente favorable al futuro, reto

que de aquí en adelante es censar, cuantificar, clasificar y complementar la información existente para todo el Ecuador.

Hay gran experiencia en los ingenios azucareros donde aprovechan en la producción de energía eléctrica el bagazo de la caña de azúcar, en el país existen muchos recursos de los cuales con la suficiente capacitación y adiestramiento de las personas se podría aprovechar los diferentes tipos de residuos vegetales que se generan a lo largo y ancho del Ecuador.

Los estudios realizados por la Corporación para la Investigación Energética (CIE) en este ámbito son sumamente alentadores pero debe ser respaldado con investigaciones más profundas en el campo mismo y sobre las diferentes tecnologías que pueden ser utilizados para obtener energía eléctrica a partir de estos residuos.

#### **2.4.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO LA BIOMASA EN ECUADOR**

En Ecuador, la biomasa más utilizada para la producción de energía térmica como eléctrica, es el bagazo de la caña de azúcar y el biogás generado por los desechos de animales. Existen otras fuentes de biomasa que son muy poco explotadas, como por ejemplo el tratamiento de los residuos sólidos urbanos con fines energéticos.

A pesar de que son numerosas las fuentes de biomasa y que su uso puede ser más económico que otro tipo de energía renovable como la solar o fotovoltaica, el país no las ha explotado a gran escala.

Entre las fuentes de energía renovable no convencional que actualmente aportan al Sistema Nacional Interconectado, se puede mencionar los excedentes de la energía térmica proveniente de la combustión de la biomasa del bagazo de caña, utilizada por los ingenios azucareros, que una capacidad nominal instalada de 101 MW y representa el 1,97 % de la potencia nominal a nivel nacional.

Debido que en los últimos años en Ecuador las energías renovables casi no han sido desarrolladas en su totalidad, el Gobierno ecuatoriano a través del Consejo Nacional de electrificación (CONELEC) y el Ministerio de Energías Renovables (MEER) ha

incentivado desde el año 2011 la construcción de nuevos proyectos, los mismos que representaban hasta el 2013 el 6% del total de energía que consume el país. [7]

Es necesario destacar algunas iniciativas que se han desarrollado en el país con el propósito de incrementar la productividad de plantas agroindustriales, entre las que se puede citar las siguientes centrales de biomasa existentes en el país:

- **San Carlos 35 MW.** Ingenio San Carlos, en Marcelino Maridueña, Guayas, con su central de vapor de 35 MW, que utiliza bagazo de caña básicamente, está en funcionamiento desde enero 2005.
- **Ecoelectric 36,5 MW.** Con una central de vapor del mismo nombre, usa el bagazo de caña del Ingenio Valdez, Milagro, Guayas y operó desde junio 2005 con 6 MW; y en 2007 incrementó su potencia a 36,5 MW.
- **Ecudos 29,8 MW.** Lucega S. A. Electric, que a fines del año 2005 fue absorbida por Ecudos S. A., opera una planta a vapor con bagazo de caña en La Troncal, Cañar, desde julio del 2005 con 13 MW y desde julio del 2006 incremento su potencia a 29,8 MW.

En el plan de expansión de generación eléctrica del Plan Maestro de Electrificación Ecuador 2007 –2016 se tiene planteado un solo proyecto de instalación de una planta de 30 MW a partir de la biomasa proveniente del bagazo de caña la cual está en su etapa de construcción, y lo cual apenas representa el 0.78% del total 3.808 MW de proyectos de diferente origen como hidroeléctricos, termoeléctricos, eólicos e interconexión internacional.

## **2.5 ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DE PICHACAY EN AZUAY**

La investigación del proyecto consiste en la determinación del potencial de biogás del botadero de basura del cantón Latacunga, y que será aprovechado para la generación de energía eléctrica, en tal razón y de acuerdo a la experiencia del relleno sanitario de Pichacay efectuare un breve análisis que me servirá de guía para mi estudio.

### **2.5.1 RELLENO SANITARIO DE PICHACAY**

La empresa pública municipal EMAC EP en unión con BGP ENERGY, son las encargadas de perforar y captar el biogás del relleno sanitario de Pichacay y que la transformarán en energía eléctrica. Dicho proyecto debía haber entrado en funcionamiento en el primer trimestre del 2013 pero hasta la presente fecha no inicia su operación, de acuerdo a las últimas noticias generadas entrará en funcionamiento para agosto del 2015.

Dicho proyecto está ubicado a 21 km de la ciudad de Cuenca, el objetivo principal es contribuir a la reducción del calentamiento global con la captación y aprovechamiento del gas metano existente en el biogás del relleno sanitario.

El proceso es la captación del biogás por medio de la perforación de pozos de las tres etapas del relleno norte I, norte II y lado sur, luego de lo cual se conducirá para ser usado como combustible en un equipo de combustión interna, que finalmente se aprovechará en la generación de energía eléctrica. De los datos obtenidos de los estudios se estima que en la primera etapa se podrá generar hasta 2 MW y reducir anualmente 75.000 toneladas por año de  $CO_2$ .

El proyecto tiene previsto generar 2 MW de potencia de electricidad que servirá para aportar a la demanda energética del cantón Cuenca, potencia que equivale a la disminución de  $CO_2$  en un equivalente de 14 mil vehículos diarios y servirá para dotar de energía a 8.000 familias a través de las redes de la empresa eléctrica de Cuenca, estimaciones basadas en los catastros de consumo de los usuarios aledaños al lugar donde está ubicado el proyecto.

El relleno tiene capacidad para recibir los desechos hasta el año 2021 y en todo este tiempo se acumulara un total de 2,7 millones de toneladas, la inversión del proyecto es de 2'377.438 dólares que incluyen las obras y equipos para la captación del biogás y la generación de energía eléctrica.

Los ingresos que se esperan de la venta de energía eléctrica están de acuerdo a precios establecidos por el CONELEC que es de 11.05 cUSD/kWh, tomando en consideración que se trata de energía renovable que se obtendrá de la biomasa del

relleno y por la disminución de los gases de efecto invernadero contemplados en el tratado de Kioto en la comercialización de los CERs (Certified Emission Reduction) en el mundo.

### **2.5.2 INGRESOS DE DESECHOS**

El ingreso de los desechos sólidos al relleno sanitario desde el año 2002 ha sido de 103.636 toneladas registrándose un incremento de 3000 toneladas por año y que al final del año 2021 está estimado que llegarán al relleno un total de 163.400 toneladas al año, dentro de la composición de los residuos se establece que hay un 85,3% de desechos domésticos, 6,7% desechos industriales y 8,0% de desechos inertes.

### **2.5.3 BIOGÁS**

Por medio de 10 chimeneas de columna el gas que se genera en el relleno se escapa hacia la atmosfera, estas chimeneas de gas pasivo han sido construidos con gaviones de malla hexagonal rellenos de piedra bola y por lo general no tienen tubos se elevan desde la base del relleno, en la superficie tienen collares de concreto que son la fijación y soporte de las chimeneas y del quemador.

La empresa internacional socia de la EMAC EP ha realizado mediciones de las concentraciones de biogás valores que han dado como record máximo la concentración de metano en un 54.4% v/v (cantidad de volumen de una determinada sustancia que hay en la disolución respecto a la cantidad de volumen total de la muestra) y un mínimo de 25.7% v/v, muestra recolectada en una chimenea de gas pasivo de 5 m. profundidad.

Al ser las chimeneas de diámetros muy grandes la velocidad de salida del gas es muy baja, por lo tanto cualquier error en las mediciones se incrementarían. En tanto el ritmo más alto del flujo pasivo corregido para la altura ha sido de  $5.2 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  (normal metro cubico por hora, es la unidad de medida del caudal o flujo del biogás, medido en condiciones normales de presión y temperatura 1 atm, 0°C), a 54.5% v/v, con valor promedio de  $2.85 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ .

#### **2.5.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La generación de energía eléctrica se lo puede hacer usando gran variedad de tecnologías, en la mayoría de proyectos de aprovechamiento del biogás de los rellenos sanitarios se usan los motores de combustión interna con capacidad de 1 MW y para proyectos mayores se usa turbinas de gas convencionales de potencias de hasta 10 MW.

Las micro turbinas están siendo utilizadas en pequeños proyectos cuyos rangos están entre los 50 a 250 kW ofrece bajas emisiones y costos de mantenimiento, pero también hay una gran desventaja su baja eficiencia térmica en comparación con los motores de combustión interna.

Con los valores de los estudios y proyecciones obtenidas de biogás en el relleno se ha establecido que hay suficiente combustible para la generación de energía eléctrica usando los motores de combustión interna, la producción de energía eléctrica cubrirá el consumo de los servicios auxiliares de la casa de máquinas, la demanda de las instalaciones del relleno y el consumo de la demanda local al sitio.

El biogás del relleno recuperado está estimada para generar con un motor de combustión interna de 1 MW aproximadamente la capacidad de generación ira incrementándose con los años debido a que al relleno irán llegando más desechos.

En la tabla 2.4 se indica los valores de energía eléctrica que se podrá generar con las proyecciones de biogás que se recuperan del relleno. Estas cargas cuentan de un 4% a 6% del producto de los generadores.

El funcionamiento de los motores de combustión interna en el relleno serán afectados por la altura a la que está ubicada el relleno sanitario de Pichacay, problema que se presenta en la reducción de la densidad del aire a medida que la altura va aumentando con respecto al nivel del mar, este fenómeno se ve reflejado en la eficiencia de las maquinas que afecta del 1 al 1,5% por cada 100 metros que se vaya elevando, para remediar este inconveniente será necesario usar turbocompresores para disminuir el efecto que se origina por la altura a la que están ubicados.

**Tabla 2. 4 Proyección de la capacidad de generación de energía eléctrica**

<b>Año</b>	<b>Promedio <math>m^3/hr</math> Disponible @ 50% <math>CH_4</math></b>	<b>Capacidad en Bruto kW</b>	<b>Capacidad Neta kW</b>	<b>Exportado MWH @ 5% carga parásita</b>
<b>2007</b>	504	944	896	6,671
<b>2008</b>	582	1090	1035	7706
<b>2009</b>	656	1229	1167	8689
<b>2010</b>	728	1363	1294	9635
<b>2011</b>	797	1493	1418	10558
<b>2012</b>	864	1618	1537	11444
<b>2013</b>	929	1740	1653	12308
<b>2014</b>	992	1858	1765	13142
<b>2015</b>	1054	1974	1875	13961
<b>2016</b>	1115	2089	1984	14772
<b>2017</b>	1174	2199	2089	15554
<b>2018</b>	1232	2308	2192	16321
<b>2019</b>	1290	2416	2295	17088
<b>2020</b>	1348	2525	2398	17855
<b>2021</b>	1404	2630	2498	18600
<b>2022</b>	1434	2686	2551	18994
<b>2023</b>	1339	2508	2382	17736
<b>2024</b>	1229	2302	2186	16276
<b>2025</b>	1132	2120	2014	14996
<b>2026</b>	1045	1957	1859	13842
<b>2027</b>	967	1811	1720	12807

Fuente: Methane to Markets, Estudio de Prefactibilidad del Potencial del biogás, Relleno Pichacay, Eastern Research Group, Inc. y Carbón Trade Ltd, 7/octubre/2007

## **2.6 MARCO LEGAL DE LA BIOMASA EN ECUADOR**

### **2.6.1 SECTOR ELÉCTRICO EN ECUADOR**

El sector eléctrico ecuatoriano tiene por objetivos generales la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica de una forma segura y eficiente. El desarrollo del sector eléctrico permite el crecimiento económico de un país, y se ve reflejado en el bienestar de la población. El Estado tiene como deber satisfacer las



necesidades de energía eléctrica del país, mediante el aprovechamiento óptimo de recursos naturales. [8]

## 2.6.2 MARCO INSTITUCIONAL

El organismo rector del sector eléctrico y de energía renovables en el Ecuador es el **Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)**, “responsable de satisfacer las necesidades de energía eléctrica del país, mediante la formulación de normativa pertinente, planes de desarrollo y políticas sectoriales para el aprovechamiento eficiente de sus recursos, estableciendo mecanismos de eficiencia energética, participación social y protección del ambiente”. [9]

El **Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)** es el encargado de las regulaciones en el sector eléctrico, dicta regulaciones y vela por el cumplimiento de las disposiciones legales, reglamentarias y demás normas técnicas de electrificación del país de acuerdo con la política energética nacional, aprueba las concesiones para el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables y establece el precio de estas energías. [10]

El **Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)** es una organización sin fines de lucro, cuyos miembros incluyen a todas las empresas de generación, transmisión, distribución y los grandes consumidores. Sus funciones se relacionan con la coordinación de la operación del Sistema Nacional Interconectado (SNI) y la administración de las transacciones técnicas y financieras del **Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)** del Ecuador, conforme a la normativa promulgada para el Sector Eléctrico. [11]

La **Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP)** es una empresa pública su finalidad es la provisión de servicio eléctrico. Las principales actividades de dicha empresa son: La generación, transmisión, distribución, comercialización, importación y exportación de energía eléctrica. Además cumple con la actividad de asociación con personas naturales o jurídicas para ejecutar proyectos, y participa en investigaciones científicas y tecnológicas en el campo de la construcción, diseño y operación de obras de ingeniería eléctrica. [9]

### **2.6.3 PARTICIPANTES DEL MERCADO**

Las unidades de negocios CELEC-Hidropaute y CELEC-Electroguayas son las de mayor representación con 33,75 % y el 14,59 % de la potencia instalada, respectivamente. La energía hidroeléctrica representa el 53,98 % y la termoeléctrica el 45,95 % de la potencia total instalada, mientras que la energía renovable solamente representa el 0,06 %. Además de las siete unidades de negocio de la CELEC mencionadas anteriormente, se tienen las empresas hidroeléctricas de: EMMAP-Q; Hidropastaza; Hidrosibimbe; las térmicas: Electroquil; Generoca; Termoguayas; e Intervisa Trade; la empresa térmica e hidroeléctrica Elecaustro y la empresa eólica Eolicsa de Galápagos. [12]

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) en cambio asumió los derechos y obligaciones para operar en el sector eléctrico nacional como empresa distribuidora de electricidad, agrupando a: Empresa Eléctrica Esmeraldas S.A.; Regional Manabí S.A.; Santo Domingo S.A.; Regional Guayas-Los Ríos S.A.; Los Ríos C.A.; Milagro C.A.; Península de Santa Elena S.A.; El Oro S.A.; Bolívar S.A.; y, Regional Sucumbíos S.A.; las cuales pasaron a funcionar como Gerencias Regionales. [7]

Las empresas distribuidoras que continúan con la denominación de Empresas Eléctricas son las siguientes: Quito, Ambato, Cotopaxi, Riobamba, Azogues, Centro Sur, Sur y Galápagos. A estas empresas se suma la Unidad de Generación, Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica de Guayaquil conocida también como Eléctrica de Guayaquil. [12]

En resumen, el sector eléctrico ecuatoriano a diciembre del 2010, estuvo compuesto por los siguientes entes: 16 Unidades de Generación, incluidas las Unidades de negocio de CELEC EP, 20 Distribuidoras; 9 Empresas Eléctricas, la Unidad Eléctrica de Guayaquil y las 10 Gerencias Regionales de la CNEL.

### **2.6.4 NORMATIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR**

La Constitución de la República del Ecuador con Registro Oficial N° 449, entre sus articulados considera el desarrollo y uso de las energías renovables, dichos artículos se transcriben a continuación:

“**Artículo 15.** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. [13]

**Artículo 313.** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley. [13]

**Artículo 413.** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”. [13]

#### **2.6.5 LEY DE RÉGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO LRSE, SUPLEMENTO-REGISTRO OFICIAL N° 43**

Contiene las normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento, vigente desde el 10 de Octubre de 1996.

Dentro del **Capítulo IX Recursos Energéticos No Convencionales** se incentiva a fomentar por parte del estado el aprovechamiento de recursos no convencionales mediante el siguiente artículo.

“**Artículo 63.** El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las

universidades y las instituciones privadas. El CONELEC asignará con prioridad fondos del FERUM a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, **biomasa** y otras de similares características”.

“**Artículo 64.** El Consejo Nacional de Electrificación dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad”

**Capítulo XI Exenciones y Exoneraciones**, se trata de las ventajas arancelarias y exoneraciones del impuesto a la renta.

“**Artículo 67.** Exonérese el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras previo el informe favorable del CONELEC.

Exonérese del pago de impuesto sobre la renta, durante cinco años a partir de su instalación a las empresas que, con su inversión, instalen y operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales señalados en el inciso anterior”.

## **2.6.6 REGLAMENTOS QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR**

### **a) Reglamento para la administración del fondo de electrificación rural y urbana marginal FERUM Suplemento Registro-Oficial N° 373**

**Artículo 2.** Sobre los organismos planificadores, la utilización de los fondos del FERUM, requeridos para obras, ampliación y mejoramiento de sistemas de distribución en sectores rurales o urbano marginales; o para construcción de sistemas de generación que utilicen energías renovables no convencionales, destinados al servicio exclusivo de sectores rurales y también para la operación y mantenimiento de sistemas eléctricos no incorporados, ubicados en las provincias fronterizas de la Amazonía y Galápagos.

**b) Reglamento general de la ley de régimen del sector Registro Oficial N° 401**

El presente reglamento establece las normas y procedimientos para cumplir con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, tanto para la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica.

“**Artículo 53.** La operación de las centrales de generación que utilicen fuentes no convencionales de energía se sujetarán a las regulaciones específicas dictadas por el CONELEC”.

“**Artículo 77.** El Estado fomentará el uso de los recursos energéticos renovables, no convencionales, a través de la asignación prioritaria de fondos del FERUM, por parte del CONELEC, quien introducirá estos elementos en el Plan Maestro de Electrificación como un programa definido”.

**c) Política de estado para la adaptación y mitigación al cambio climático, Decreto Ejecutivo N° 1815, Registro Oficial N° 636**

Se declara como política de estado la adaptación y mitigación al cambio climático, dicho decreto establece en su artículo numero dos que todos los proyectos ejecutados en el sector público, tendrán la obligación de contemplar en su ingeniería financiera una cláusula de adicionalidad, con la finalidad de acceder en lo posterior a Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).

**d) Código de la Producción, Comercio e Inversiones, Registro Oficial N° 351**

Se rigen por la presente normativa todas las personas naturales y jurídicas y demás formas asociativas que desarrollen una actividad productiva, en cualquier parte del territorio nacional.

**Artículo 24.** Para los sectores que contribuyan al cambio de la matriz energética, a la sustitución estratégica de importaciones, así como para el desarrollo rural de todo el país, se reconoce la exoneración total del impuesto a la renta por cinco años a las inversiones nuevas que se desarrollen en estos sectores.

## **2.6.7 REGULACIONES DEL CONELEC QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR**

### **a) Regulación del CONELEC 006/08, Aplicación del Mandato Constituyente No. 15, Resolución N° 106/08 del 12 de agosto de 2008**

El objetivo de la presente Regulación es establecer los parámetros regulatorios específicos para el establecimiento de una tarifa única que deben aplicar las empresas eléctricas de distribución, para cada tipo de consumo de energía eléctrica. La presente regulación establece lo siguiente:

- Definir nuevas reglas comerciales para el funcionamiento del mercado.
- Establecer los nuevos parámetros regulatorios que se considerarán para el cálculo de las tarifas eléctricas.
- Aplicación de los pliegos tarifarios.
- Mecanismo de coordinación con el Ministerio de Finanzas.
- Proceso de transición

**Capítulo III Funcionamiento de Mercado.** Los contratos tendrán una duración mínima de un año; excepto para los generadores que usen energías renovables no convencionales cuya duración no podrá ser menor a diez años.

### **b) Regulación del CONELEC 008/08, Procedimientos para presentar, calificar, priorizar y aprobar los proyectos del FERUM, Resolución N° 121/08 del 23 de octubre de 2008**

La presente Regulación sustituye a la Regulación No. CONELEC- 001/08 “Regulación por la cual se establecen los procedimientos para presentar, calificar y priorizar los proyectos del FERUM”.

El objetivo de esta regulación es establecer los procedimientos para presentar, calificar y aprobar los proyectos FERUM, el CONELEC determinará anualmente el monto máximo de los recursos del FERUM que podrán asignarse a cada una de las empresas eléctricas distribuidoras.

**Capítulo III Pre asignación de Recursos y Presentación de Proyectos.** Se indica la asignación de recursos mediante una reserva de 7,5% del presupuesto FERUM para las provincias fronterizas, Amazonía y Galápagos. Además, incluye que los proyectos con energías renovables podrán ser presentados por organismos de desarrollo ante el CONELEC, cuando dicho proyecto no pueda ser atendido mediante redes, ni ha sido considerado por la Empresa Distribuidora de Electricidad de la zona como un proyecto de energías no renovables.

**c) Regulación del CONELEC 013/08, Regulación Complementaria No. 1 para la Aplicación del Mandato Constituyente No. 15, Resolución N° 0138/08 del 27 de noviembre de 2008**

El objetivo de esta Regulación es complementar la Regulación del CONELEC 006/08, especialmente en los temas relacionados con el funcionamiento del mercado eléctrico. Se mencionan los siguientes alcances para la regulación:

- Definir las reglas comerciales para el funcionamiento del mercado.
- Establecer la normativa para los contratos regulados entre los participantes del mercado.
- Proceso de transición del modelo de mercado.

**Capitulo IX sobre Energías Renovables no Convencionales.** Se menciona la participación en el mercado con el despacho preferente para centrales de generación que utilicen energías renovables, por parte del CENACE. El despacho no podrá exceder el 6% de la capacidad instalada y operativa de los generadores del mercado eléctrico. Si es que se supera el 6%, el Estado asumirá los costos de producción de estos generadores y constara obligatoriamente en el Presupuesto General de del Estado.

**d) Regulación del CONELEC 003/11, Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración, Resolución N° 022/11, del 14 de abril de 2011**

El objetivo de esta regulación es definir la metodología para la determinación de los plazos y precios a aplicarse para los proyectos de generación y autogeneración

desarrollados por la iniciativa privada, incluyendo aquellos que usen energías renovables. Dentro de esta regulación se mencionan aspectos relacionados con las Energías Renovables que se mencionan a continuación:

**Capítulo III Plazos a ser considerados en los títulos habilitantes.** El CONELEC determina los plazos a ser considerados en los Títulos Habilitantes para los proyectos de generación que usen energías renovables.

**Capítulo V.** El CONELEC determinará los precios para los proyectos de generación que usen energías renovables y que se acojan a la Regulación para el incentivo de este tipo de proyectos.

**e) Regulación del CONELEC 004/11, Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales, Resolución N° 023/11 del 14 de abril de 2011**

El objetivo de dicha regulación es establecer los requisitos, precios, período de vigencia, y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados, por los generadores que utilizan fuentes renovables no convencionales.

El alcance de la Regulación comprende Energía Renovables no convencionales como: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada. Cualquier interesado en desarrollar un proyecto de generación que utilice fuentes renovables podrá solicitar el tratamiento preferente como generador no convencional, para lo cual tendrá que presentar al CONELEC los requisitos respectivos.

**f) Reforma a la Regulación del CONELEC 004/11, Resolución No. 017/12 del 12 de Enero de 2012**

Por medio de esta se modifica la Regulación No. 004/11 del CONELEC, se incluyen definiciones como: Central solar termoeléctrica y Central de Corriente Marinas. Además se modifica la tabla 5 referente a los precios preferentes de la Energía Renovable como se indica a continuación.



**Capítulo VI Condiciones preferentes.** Los precios preferentes a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega son aquellos indicados en las Tablas 2.5 y 2.6.

**Tabla 2. 5 Precios preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh).**

<b>CENTRALES</b>	<b>TERRITORIO CONTINENTAL</b>	<b>TERRITORIO INSULAR DE GALÁPAGOS</b>
<b>Eólicas</b>	9.13	10.04
<b>Fotovoltaicas</b>	40.03	44.03
<b>Solar Termoeléctrica</b>	31.02	34.12
<b>Corrientes Marinas</b>	44.77	49.25
<b>Biomasa y Biogás &lt; 5 MW</b>	11.05	12.16
<b>Biomasa y Biogás &gt; 5 MW</b>	9.6	10.56
<b>Geotérmicas</b>	13.21	14.53

**Fuente: CONELEC**

**Tabla 2. 6 Precios preferentes Centrales Hidroeléctricas hasta 50 MW en (cUSD/kWh).**

<b>CENTRALES</b>	<b>PRECIO</b>
<b>Centrales hidroeléctricas hasta 10 MW</b>	7.17
<b>Centrales hidroeléctricas mayores a 10 MW hasta 30 MW</b>	6.88
<b>Centrales hidroeléctricas mayores a 30 MW hasta 50 MW</b>	6.21

**Fuente: CONELEC**

Los precios establecidos en esta Regulación se garantizarán y estarán vigentes por un período de 15 años a partir de la fecha de suscripción del Título Habilitante, para todas las empresas que hubieren suscrito dicho contrato hasta el 31 de diciembre de 2012. El CENACE despachará de manera obligatoria y preferente toda la energía eléctrica que las centrales que usan recursos renovables no convencionales entreguen al sistema, hasta el límite del 6% de la capacidad instalada y operativa del SNI.

**Capítulo IX Precio de la Energía a partir del 2013.** Para el precio de la energía de proyectos nuevos o proyectos que incrementen su capacidad a partir del año 2013 El CONELEC realizará una revisión de los precios de la energía y su

periodo de vigencia, se realizará el estudio correspondiente basado en referencias internacionales de este tipo de energías, la realidad de precios del mercado eléctrico ecuatoriano o cualquier otro procedimiento que estimare conveniente.

**Capítulo X Generadores menores a 1 MW.** Los generadores menores a 1 MW que se acojan a los precios preferentes de esta regulación no firmarán un contrato, sino que deberán obtener el registro, de conformidad con la regulación respectiva, adicionalmente a los requisitos establecidos en ésta se deberá verificar que la potencia del Proyecto haga un uso óptimo del recurso.

**Capítulo XI Sistemas no Incorporados.** La energía producida y entregada en Sistemas no incorporados al SNI, será considerará, para efectos de liquidación, como entregada al SNI y su sobrecosto se distribuirá entre todos los participantes. El costo medio también deberá ser asumido por el sistema no incorporado. Para efectos de las liquidaciones, el CENACE determinará, en conjunto con los generadores no convencionales y distribuidores que no se encuentren incorporados al SNI, el procedimiento necesario para efectuar la liquidación de la energía que entregan y reciben.

**g) Regulación del CONELEC 005/11, Criterios para remunerar a los generadores durante pruebas y operación experimental, Resolución N° 030/11 del 12 de mayo de 2011**

La presente regulación deroga a las Regulaciones Nos. CONELEC 004/99 y 008/99, que tratan sobre los criterios para remunerar a los generadores hidroeléctricos y termoeléctricos durante el periodo de pruebas y operación experimental. El objetivo de esta regulación es fijar los procedimientos de remuneración de la energía producida en unidades de generación: hidroeléctricas, termoeléctricas y renovables no convencionales, durante los periodos de prueba y operación experimental, determinados en los respectivos contratos de concesión.

**Capítulo IV Energía.** Para el periodo de pruebas la remuneración de la energía proveniente de las centrales renovables no convencionales, no se remunerará. En cambio durante el periodo de operación experimental la energía eléctrica

producida por centrales renovables no convencionales, será remunerada al precio preferente establecido en la Regulación específica.

## **2.6.8 PLANES QUE INCENTIVAN LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR**

Relacionado con los planes que incentivan el desarrollo de las Energías Renovables en el Ecuador se citan los siguientes:

### **a) Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir 2009-2013 PNVB, Resolución N° CNP-001-2009**

Cuenta con 12 Estrategias Nacionales y 12 Objetivos Nacionales [13], relacionado a las energías renovables se menciona a continuación el objetivo 4 y dentro de este objetivo, la política 4.3.

**“Objetivo 4:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable. “Promovemos el respeto a los derechos de la naturaleza. La Pacha Mama nos da el sustento, nos da agua y aire puro. Debemos convivir con ella, respetando sus plantas, animales, ríos, mares y montañas para garantizar un buen vivir para las siguientes generaciones.

**Política 4.3.** Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles”. [14]

“Adicionalmente, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables establece las siguientes políticas, citadas del **Plan Maestro de Electrificación 2012-2021 (PME)**, relacionadas con las energías renovables:

- Promover el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, a fin de maximizar el aprovechamiento del potencial hídrico de las distintas cuencas.
- Promover e impulsar el desarrollo de fuentes renovables de generación de energía eléctrica.
- El desarrollo de la energización rural y electrificación urbano-marginal está contemplado en el Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013. Para cumplir

los objetivos se cuenta con el Programa **FERUM Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal**, dentro de sus políticas y siguiendo el Plan Nacional de Electrificación 2012-2021 el programa contempla dentro de uno de sus literales la siguiente política:

- Desarrollar, un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía disponible, que garantice un suministro, económico, confiable y de calidad”. [15]

## 2.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Biomasa:** Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

**CO<sub>2</sub>:** También denominado dióxido de carbono, gas carbónico y anhídrido carbónico los dos últimos nombres cada vez más en desuso, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante y normalmente se encuentra en la naturaleza en forma gaseosa, pero cuando se le somete a una presión y temperatura considerable baja se vuelve líquido y llega a ser sólido formando lo que se denomina hielo seco o nieve carbónica.

**Energía Renovable:** Es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales

**Energía no Renovable:** O "energías convencionales" se refiere a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que no existe sistema de producción o extracción viable.

**Lixiviados:** Líquidos provenientes de la mezcla de agua lluvia con materia orgánica, originados por la fermentación de la misma. Agua filtrada a través de la basura que arrastra materiales livianos o solubles en agua.

**Vertido:** Se denomina a cualquier disposición de aguas residuales en un cauce o masa de agua. También se utiliza el término para los vertidos que se realizan sobre el terreno.

**Chimeneas de Ventilación:** Tubos perforados ubicados técnicamente en los rellenos sanitarios para la ventilación o liberación del biogás producido por la descomposición de la materia orgánica.

**Cunetas para la recolección de aguas lluvias:** Canales ubicados en lugares estratégicos del botadero para la recolección del agua acumulada por efecto de la lluvia.

**Biogás:** Gas que se produce mediante un proceso de fermentación anaerobia de la materia orgánica. Este biogás es utilizado como combustible, tiene un alto valor calórico de 4 700 a 5 500 kcal. /m<sup>3</sup>.

**Basura orgánica:** Comprende los residuos provenientes de restos de alimentos, desperdicios de origen animal y vegetal y productos como papel, cartón, cuero y madera.

**Basura inorgánica:** Formada por material inerte o mineral, que se descompone muy lentamente. Incluye los escombros de construcción, chatarra y restos de actividades mineras, entre otros.

**Residuos especiales:** Engloba los plásticos, vidrios, cauchos sintéticos y otros residuos como los plaguicidas a base de cloro, el DDT y los desechos de industrias químicas, petroquímicas y de fundición.

**Residuos industriales:** Generados por industrias, muchos de los cuales son recuperables. Formado en su mayor parte por residuos inorgánicos. Pueden comprender químicos, residuos plásticos o metales.

**Residuos Sólidos Urbanos:** Formados principalmente por material orgánico. Son producidos a nivel domiciliario.

**Residuos hospitalarios:** Producidos por hospitales, clínicas, consultorios médicos, que son muy contaminantes y peligrosos. Este tipo de residuos debe tener un tratamiento muy especial que los encapsule o confine. [16]

## 2.8 CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

Buscando fuentes de energía renovables de generación eléctrica se analizó a la biomasa como una fuente de energía limpia, eficiente y confiable, realizando la conversión de biomasa en energía para ello se hace la transformación en combustibles líquidos o gaseosos.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La modalidad de investigación que se aplicó en este proyecto es del tipo factible, el mismo que concreta un estudio que nos permita la solución de un problema de carácter práctico, que puedan conceder beneficios en diferentes áreas o esferas del acontecer diario. Enfocado al tema de investigación, se relaciona con la búsqueda de soluciones a la mitigación de la contaminación ambiental producida por la generación de desechos sólidos en la ciudad de Latacunga, desechos que una vez clasificados pueden ser aprovechados por su descomposición para obtener biogás y este combustible usarlo en la generación de energía eléctrica, a través de centrales que utilizan el recurso de la Biomasa para este propósito. Al lograr concretar este criterio y con la generación de la energía eléctrica a través de este método se tendera a disminuir la contaminación evitando la emanación a la atmosfera de los gases producidos en los rellenos sanitarios que está provocando el calentamiento global y se lograra disminuir la contaminación ambiental en la ciudad de Latacunga lugar donde se realizara esta investigación.

**En este sentido, la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) (1998) define al proyecto factible como un estudio “que consiste en la investigación, elaboración, y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales”. La propuesta que lo define puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos, que solo tienen sentido en el ámbito de sus necesidades. (UPEL Sapiens. Revista Universitaria de Investigación p.6).**

#### **3.1.2 FORMA**

El presente trabajo de investigación se desarrolló basado en la investigación aplicada la misma que sustentada o apoyada en la solución de problemas específicos para lograr mejorar la calidad de vida de los conciudadanos de la ciudad de Latacunga, dando un adecuado tratamiento de los desechos sólidos y evitando la

contaminación ambiental de la urbe, este tipo de investigación también tiene fundamento o está vinculada en la investigación pura, ya que depende de los aportes teóricos desarrollados en la misma.

### **3.1.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

En la realización de este trabajo se utilizó la investigación cuali-cuantitativo, debido a que tiene como objetivo la descripción de las principales cualidades del uso de la biomasa como recurso energético para la generación de energía eléctrica, y que busca un concepto que pueda abarcar una parte de la realidad y es cuantitativo pues generaliza y presupone, para alcanzar mayor validez, un conocimiento cualitativo y teórico bien desarrollado.

Dentro del alcance de la investigación, se indica los siguientes aspectos:

- De prueba, el cual permitirá dar una primera versión sobre el problema planteado, es decir prepara el ambiente donde se llevara a cabo la investigación, y se examinará el tema que dentro del lugar donde se desarrollara ha sido poco investigado
- Además se buscará especificar propiedades, características y rasgos importantes de la investigación que se está proponiendo, con la finalidad de describir las principales tendencias de uso de los recursos por parte de la población.
- Sera también explicativo, pues se establecerá las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que intervengan en la investigación.

La compilación de la información será del tipo documental, puesto que se recurrirá a documentos, libros, revistas, folletos, estadísticas, con el propósito de conseguir toda la información adecuada para cumplir eficientemente el objetivo planteado de manera que guíe y contribuya al sustento teórico para la investigación que se está proponiendo en este documento.

**Carlos Sabino plantea los tipos de investigación desde el punto de vista de los objetivos intrínsecos y extrínsecos: Los Exploratorios**



**cuando pretenden darnos una visión general de tipo aproximativo respecto a la realidad y están referidos a temas pocos estudiados y de reciente data, Descriptivos: se concreta en describir las características fundamentales, destacando los elementos esenciales que caracterizan al fenómeno estudiado, y las explicativas que tratan de determinar los orígenes y las causas de los hechos objeto de la investigación, finalmente asienta la tarea de la investigación sobre un problema no tiene por qué reducirse a uno sólo de estos campos de acción, pues hay casos en que pueden llevarse a cabo trabajos exploratorios descriptivos o descriptivos explicativos, de acuerdo a la naturaleza del problema. Los tipos precedentes de investigación tampoco pueden concebirse como totalidades cerradas y excluyentes (Carlos Sabino Pág. 59).**

#### *Metodología.*

**Se establece que un diseño no experimental es: “La que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de investigación donde no hacemos variar intencionadamente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos.” (Hernández, 184).**

Por lo tanto y de acuerdo a la definición anterior en este proyecto se utilizó la metodología de la investigación no experimental, por tratarse de investigaciones que ya fueron ejecutadas, como el proyecto de recuperación de biogás de Pichacay en Azuay que con este compendio se tratara de aportar o dar a conocer de alguna forma conocimientos para el aprovechamiento disponible de estos tipos de energía que aún no se conoce en grandes estratos de la sociedad, además se utilizara los métodos estadísticos para el tratamiento y análisis de los datos que se recopilaron en el área de estudio.

Con este criterio la variable dependiente es la generación de la energía eléctrica la misma que dependerá en gran medida de la variable independiente que es la

biomasa disponible en el botadero de basura del cantón Latacunga como recurso energético renovable, dicho recurso será cuantificado y de acuerdo a sus características físico químicas se podrá determinar la cantidad y calidad de materia prima que se obtendrá de estos residuos y que serán aplicados en la generación de la energía eléctrica.

## **3.2 UNIDAD DE ESTUDIO**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

Una vez que se ha definido cuál será nuestra unidad de análisis, se procedió a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la que se pretende enfocar todos los resultados. Así según Carlos Sabino (1997) “Población. No es más que aquel conjunto de individuos o elementos que podemos observar, medir una característica o atributo. Son características medibles u observables de cada elemento por ejemplo, su estatura, su peso, edad, sexo, etc.”

De acuerdo a esta definición la población a la que está dirigida la toma de los datos es:

- La potencialidad de biomasa derivada de los desechos sólidos que ingresan diariamente en un valor de 103,9 Ton/día al vertedero de basura de Latacunga.

Dado el tamaño de la población se procedió a la selección de la muestra. Ya que de acuerdo a su conceptualización “La muestra es, en esencia, un subgrupo representativo de dicha población. Para que la muestra, al menos teóricamente, sea representativa de la población, su selección debe seguir procedimientos que permita a cualquiera de todas las posibles muestras del mismo tamaño contenidas en la población, tener igual oportunidad de ser seleccionada”.

### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra es una representación significativa de las características de una población, que bajo, la asunción de un error (generalmente no superior al 5%) estudiamos las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global.

**"Se llama muestra a una parte de la población a estudiar que sirve para representarla". Murria R. Spiegel (1991).**

**"Una muestra debe ser definida en base de la población determinada, y las conclusiones que se obtengan de dicha muestra solo podrán referirse a la población en referencia", Cadenas (1974).**

Para obtener la muestra representativa es necesario realizar lo siguiente:

- a) Definir la población.
- b) Elaboración de un listado de las unidades de población
- c) Elaborar un listado de las unidades representativas de la población.
- d) La obtención de la muestra debe contener las características de la población total; y

De acuerdo a estas características la muestra estará representada por:

- Muestra: Estará en función de la población, se evaluará el 55,52 % del vertimiento de los desechos sólidos que corresponden a los residuos orgánicos, basado en la información de EPAGAL.

### **3.2.3. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

El poder disponer de un buen sistema de variables es de suma importancia en el proceso de la investigación que se llevó a cabo, ya que facilitó el diseño, desarrollo y posterior análisis estadístico de los resultados.

**Así mismo, Bavaresco (1996), se refiere a las variables como: "Las diferentes condiciones, cualidades características o modalidades que asumen los objetos en estudio desde el inicio de la investigación. Constituyen la imagen inicial del concepto dado dentro del marco" (p. 76). A tal efecto, se establecen las siguientes variables e indicadores que se conceptualizan más adelante.**

**Operacionalizar es definir las variables para que sean medibles y manejables, significa definir operativamente. Un investigador necesita traducir los conceptos (variables) a hechos observables para lograr su**

**medición. Las definiciones señalan las operaciones que se tienen que realizar para medir la variable, de forma tal, que sean susceptibles de observación y cuantificación. De acuerdo con Hempel (1952).**

En base al análisis de Hempel se realizó la operacionalización de las variables que conformaron el proyecto de investigación planteado, con la finalidad de tener claro el objetivo del estudio propuesto.

**Tabla 3.1 Variable Independiente y Dependiente**

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>		<b>Potencial de la Biomasa</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Potencial de La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles.	Datos Generales del Proyecto	Coordenadas geográficas	UTM	mediciones	GPS
		Datos del emplazamiento	m	mediciones	metro
		Infraestructura	m <sup>2</sup>	mediciones	metro
	Recurso de Biomasa	Los residuos orgánicos urbanos	Tm/año	Cálculos	Estadísticas Ecuaciones
		Datos de residuos de mercados	Tm/año	Cálculos	Estadísticas Ecuaciones
		Residuos industriales	Tm/año	Cálculos	Estadísticas Ecuaciones
	Recolección de muestras del botadero	cuarteo de las muestras	Kg	Cálculos	Balanzas Ecuaciones
		clasificación de las muestras	Kg, %	Cálculos	Ecuaciones
	Evaluación del potencial energético	Energía y generación de biogás aprovechada	KJ/kg, m <sup>3</sup> /hr, kWh/m <sup>3</sup>	Cálculos	Ecuaciones

<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>		<b>Generación de Energía Eléctrica</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Es la determinación de la cantidad de energía que consumo el sistema vs la cantidad de energía que entrega, tomando en cuenta perdidas".	Dimensionamiento del sistema de generación	Dimensionamiento del generador	Modulo	Cálculos	Ecuaciones
		Análisis del motor de combustión interna, turbinas de gas o celdas de combustible	Análisis	Cálculos	Ecuaciones
		Dimensionamiento del motor de combustión interna	Análisis	Cálculos	Ecuaciones
	Pre-factibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 3.3 MODELOS PREDICTIVOS ESTÁNDAR Y PARÁMETROS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Para el análisis del potencial de generación de biogás de los rellenos sanitarios, los modelos matemáticos resultan útiles las cuales han sido usadas para evaluar los riesgos asociados a la emisión de gases y al análisis de la factibilidad del proyecto.

Para el uso de los modelos matemáticos hay que tener en cuenta varios parámetros que nos guíen en la selección adecuada del modelo, dentro de estos se debe considerar los parámetros de entrada es decir la cantidad de residuos que son degradables (Ton/día), otro parámetro es el tiempo entre la disposición de los residuos y el inicio de la descomposición anaeróbica (tiempo), y entre otros parámetros que pueden ser diferentes de acuerdo al modelo elegido.

Se utilizará un modelo simple que permita realizar un análisis de sensibilidad (recolección de datos confiables para realizar predicciones mucho más acertadas en la producción del biogás), por lo tanto me basaré en los modelos de primer orden que permiten comprender fácilmente, además de la aplicación en los párrafos siguientes, dicho análisis me permitirá determinar el método a utilizar.

Seguidamente se describirá los modelos que propone la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

#### 3.3.1 MODELO LANGEM

Modelo utilizado para la estimación de las tasas de emisiones de sitios de disposición de residuos sólidos municipales en general.

Este método se basa en una ecuación de descomposición con cinética de primer orden para la cuantificación de emisiones derivadas de la descomposición de residuos biodegradables. Se usa para estimar la tasa de emisiones total de gases del relleno sanitario como el gas metano, el dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, y otros contaminantes atmosféricos. Se puede evaluar con la siguiente ecuación:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k * L_o * \left(\frac{M_i}{10}\right) * e^{-kt_{ij}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$Q_{CH_4}$  = Generación anual de metano ( $m^3$ /año)

$L_o$  = Potencial de generación de metano ( $m^3$ /año).

$k$  = Tasa de generación de metano (1/año);

$M_i$  = Cantidad de residuos recibidas en el relleno en el año  $i$ th (Mg)

$t$  = Tiempo después del cierre (años).

El rango típico de  $k$  es de 0,01 a 0,10 y el valor de  $L_o$  está en función del contenido orgánico en los residuos. El bajo contenido de humedad en los residuos podría limitar  $L_o$ .

### 3.3.2 MODELO DE DECAIMIENTO DE PRIMER ORDEN

En el modelo de primer orden el efecto de los años de los desperdicios en la producción del biogás está incluido. Por lo que la relación de cantidad de unidad del desperdicio, con la generación de biogás desciende de manera exponencial, el cual está representado en la siguiente formula.

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%vol} k * L_o * M * e^{-k(t-t_o)} \quad \text{Ecuación 3}$$

$Q$  = Metano total producido (metros cúbicos normales);

$n$  = Número total de años modelados

$k$  = Constante de generación del metano;

$\%vol$  = Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogas.

$L_o$  = Potencial de generación del metano ( $m^3$ /Tonelada);

$M$  = Masa del residuo dispuesto (Tonelada/año);

$t_o$  = Tiempo inicial del residuo (años);

$t$  = Tiempo después del cierre del vertedero (años).

### 3.3.3 MODELO BINGEMER Y CRUTZEN

Modelo a ser usado en regiones donde no se dispone de datos detallados de los residuos sólidos y se requiere realizar estimaciones donde se incluya el contenido de carbono orgánico degradable y la calidad de manejo del sitio a disposición. La

aplicación es sugerida para estimar las emisiones regionales y de países. De acuerdo a directrices IPCC, se indica la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Emisiones } CH_4(\text{Tg/año}) &= \\ &= [MSW_t * MSW_f * MC_f * DOC * DOC_f * F * (16/12)] - R * (1 - OX) \end{aligned}$$

#### Ecuación 4

$MSW_t$  = Cantidad total de residuos sólidos urbanos generados Tg/año.

$MSW_f$  = Fracción de residuos sólidos urbanos eliminados en los rellenos sanitarios.

$MC_f$  = Factor de corrección de metano (fracción de RSU en descomposición anaeróbica).

$DOC$  = fracción de carbono orgánico biodegradable en los RSU.

$DOC_f$  = fracción DOC no asimilada (convertido a metano o dióxido de carbono).

$F$  = fracción de metano del biogás; por defecto es 0.5

$R$  = metano recuperado (Tg / año); asume sistema de extracción activa.

$OX$  = factor de oxidación metano-trófica (fracción); predeterminado es 0

### 3.3.4 MODELO DE PRIMER ORDEN MODIFICADO “VAN ZANTEN & SCHEEPERS”

Este modelo indica que la producción del metano es inicialmente baja y con el tiempo sube a su máximo antes de iniciar su descenso de manera exponencial. Se representa con la siguiente ecuación:

$$Q = M * Lo * \frac{k+s}{s} * (1 - e^{-s(t-t_0)}) * (k * e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$Q$  = Metano producido en el año  $i$  desde la sección  $ith$  del residuo;

$k$  = Constante de generación del metano;

$Lo$  = Potencial de generación del metano ( $m^3$ /Tonelada);

$M$  = Masa del residuo dispuesto (Tonelada/año);

$t_0$  = Tiempo inicial del residuo (años);

$t$  = Tiempo después del cierre del vertedero (años).

$s$  = Relación del aumento de la constante de fase del primer – orden.

### 3.3.5 MODELO TRIANGULAR

Este método asume una primera fase en línea recta creciente, seguido de una segunda fase en línea recta decreciente con respecto a la relación de generación. El total de la relación es la suma de los dos componentes individuales dados una vez en particular. La siguiente ecuación representa este método:

$$Q_{sp} = \frac{2 * L_o}{t_f} \quad \text{Ecuación 6}$$

$Q_{sp}$  = Relación máxima específica de la generación de metano, en volumen por masa – tiempo;

$t_f$  = Tiempo para completar la degradación (años).

$L_o$  = Potencial de generación del metano ( $m^3$ /Tonelada)

### 3.3.6 MODELO POLIFÁSICO

Método basado en el modelo de primer orden “Swana”, se caracteriza por las diferentes fracciones del desperdicio con porcentajes diferentes de biodegradación. Se inicia con alta generación en los primeros años y una formación prolongada al final. Indicada en la siguiente ecuación:

$$Q = M * L_o * [F_r * (k_r * e^{-K_r(t-t_o)}) + F_s * (k_s * e^{-K_s(t-t_o)})] \quad \text{Ecuación 7}$$

Dónde:

$Q$  = Metano producido en el año  $i$  desde la sección  $ith$  del residuo;

$k_r$  = Constante de decaimiento de primer orden para una descomposición rápida de la basura;

$k_s$  = Constante de decaimiento de primer orden para una descomposición lenta de la basura;

$L_o$  = Potencial de generación del metano ( $m^3$ /Tonelada);

$M$  = Masa del residuo dispuesto (Tonelada/año);

$t_o$  = Tiempo inicial del residuo (años);

$t$  = Tiempo después del cierre del vertedero (años).

$F_r$  = Fracción de una descomposición rápida de basura;



$F_s =$  Fracción de una descomposición lenta de basura.

### 3.3.7 MODELO SCHOOL-CANYON

Este modelo es el más usado en la determinación de la producción de gas metano de los rellenos sanitarios. Modelo que se supone que la fase de lapso es despreciable, la generación de gas metano alcanza rápidamente el máximo, este análisis no considera una fase de lapso, ni considera factor restrictivo como la humedad. Se representa con la ecuación siguiente:

$$Q = k * G = \sum_{i=1}^n r_i * k_i * G_{0i} * e^{-k_i * t_i} \quad \text{Ecuación 8}$$

$Q =$  Metano producido en el año  $i$  desde la sección  $ith$  del residuo;

$n =$  La cantidad de años de la colocación del desperdicio (Años);

$r_i =$  Fracción de desecho total en sub masa  $i$ ;

$k_i =$  Constante de relación de generación de gas para sub masa  $i$ ;

$G_{0i} =$  Volumen de metano que se queda para ser producido a

$t = 0$  para sub masa  $i$  ( $m^3$ );

$t_i =$  Edad en años de la sección de desperdicio colocados en el  $ith$  año (años);

### 3.3.8 MODELO GASFILL “FINDIKAKIS”

Incluye una fase de lapso, la primera etapa de una rama hiperbólica en aumento, y la segunda etapa de reducción de la rama exponencial. Se asume esto debido a que el dióxido de carbono se produce en la misma cantidad molar comparado con el metano y que dichos desperdicios están compuestos fácilmente de biodegradación y de una lenta biodegradación. La siguiente ecuación nos muestra este método.

$$Q_j = Q_{pj} * e^{-\lambda_j(t_{2j}-t_{1j})} \quad \text{Ecuación 9}$$

$Q_j =$  Relación de generación de metano de desperdicios por  $j$  componentes en volumen por tiempo

$t_{1j} =$  Tiempo de generación máxima por  $j$  componentes (años).

$t_{2j} =$  Tiempo en el que la rama hiperbólica de el máximo apogeo

cuando se acerca al infinito asintóticamente (años).

$Q_{pj}$  = Relación de máxima generación de metano en volumen por tiempo

$\lambda_j$  = Constante.

### 3.3.9 PARÁMETROS

#### 3.3.9.1 VALORES CONSTANTES PARA LA GENERACIÓN DEL METANO Y DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DEL METANO

Estos valores están sujetos a los diferentes estratos de terreno y de los sistemas a utilizarse se seleccionará los valores de k y  $L_0$  según sea lo ideal.

Estos valores varían en base a la precipitación promedio anual, en el clima de la región donde está ubicado el relleno sanitario, tipo de residuo y clima, como también del contenido de humedad, la disponibilidad de nutrientes, el pH y la temperatura.

Los valores indicados en las tablas siguientes no determinan exactamente que deben ser dichos valores los que se elegirán, ya que dichas tablas pueden ser una guía para la aplicación de los modelos que se describió anteriormente.

En la tabla 3.2 se indica los valores de la constante k de generación del metano.

**Tabla 3. 2 Valores de la constante k de generación de metano**

Precipitación Anual	Rango de Valores k (Según condición del residuo)		
	Relativamente Inerte	Moderablemente Degradable	Altamente Degradable
< 250 mm	0,01	0,02	0,03
> 250 a < 500 mm	0,01	0,03	0,05
> 500 a < 1000 mm	0,02	0,05	0,08
> 1000 mm	0,02	0,06	0,09

El parámetro  $L_0$  describe la cantidad total de CH<sub>4</sub> potencialmente producida por unidad de masa de residuos cuando ésta se degrada, y depende casi exclusivamente de la composición de los residuos en el relleno sanitario, en particular de la fracción orgánica presente.

En la tabla 3.3 se da los valores de la constante  $L_0$  del potencial de generación del metano.

**Tabla 3.3 Valores de la constante  $L_0$  potencial de generación de metano.**

<b>Valores de <math>L_0</math> Sugeridos según el Contenido Orgánico del Residuo</b>		
<b>Categorización del Residuo</b>	<b>Valor Mínimo <math>L_0</math></b>	<b>Valor Máximo <math>L_0</math></b>
<b>Residuo Relativamente Inerte</b>	5	25
<b>Residuo Moderablemente Degradable</b>	140	200
<b>Residuo Altamente Degradable</b>	225	300

### 3.3.9.2 VALORES DE LOS PARÁMETROS FCM, COD, COD<sub>f</sub>, F, R y OX

Como se indicó en el modelo de Bingemer-Crutzen hay parámetros que pueden ser modificados según pase el tiempo, la selección de tales valores se describe seguidamente.

#### Valores para el parámetro FCM.

**Tabla 3.4 Valores para el parámetro FCM de acuerdo al tipo de relleno sanitario.**

<b>Clasificación de los Rellenos Sanitarios y Factores de Corrección del Metano (FCM)</b>	
<b>Tipo de Relleno Sanitario</b>	<b>Valores por defecto del FCM</b>
<b>Controlados</b>	1
<b>No controlados</b>	0,8
<b>No controlados</b>	0,4
<b>Rellenos Sanitarios no incluidos en ninguna categoría</b>	0,6

#### Valores para el parámetro COD

El valor del COD (Carbono orgánico degradable), se lo puede obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$COD = (0,4 * A) + (0,17 * B) + (0,15 * C) + (0,3 * D) \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

**A** : Fracción de residuo sólido urbano compuesta de papel y textiles.

**B** : Fracción de residuo sólido urbano formada por desechos de jardín, parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos.

**C** : Fracción de residuo sólido urbano compuesta de restos de alimentos.

**D** : Fracción de residuo sólido urbano compuesta de madera o paja.

### **Valores para el parámetro CODf**

Para determinar el valor del CODf (fracción de carbono orgánico degradable no asimilado), de acuerdo a las experiencias obtenidas en varios proyectos y a las directrices del IPCC, proponen valores que están próximos entre 0.5, 0.6 y 0.77, y que de acuerdo a la práctica instaurado en varios trabajos el valor recomendable para el CODf es de 0,5.

### **Valores para el parámetro F**

Fracción de metano en el biogás (por defecto es 0.5). La fracción de metano en el biogás supone 0,5 como valor predeterminado y adoptado.

### **Valores para el parámetro R**

El valor de R en la recuperación del biogás se asume cero, valor que puede modificarse cuando se tenga valores medidos en la recuperación del gas en el relleno.

### **Valores para el parámetro OX**

Según el IPCC el factor de oxidación por defecto es 0. Es el metano que se oxida en la capa superior de la masa de desechos sólidos donde el oxígeno está presente. La oxidación puede reducir la cantidad de metano generado que se emite en última instancia. Sin embargo, no hay factor de aceptación internacional y puede ser asumido como el valor de cero.

### 3.4 ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE BIOGÁS

A pesar de tener el biogás impactos muy negativos tanto en la salud como en el medio ambiente, este gas se puede utilizar como una fuente potencial de energía, por su alto poder calórico promediado en más o menos  $20 \text{ MJ}/\text{m}^3$ , en tal circunstancia se puede usar de forma directa como energía térmica o generando energía eléctrica o a su vez se puede ser quemado para reducir el contenido del metano a dióxido de carbono y agua.

Todo el biogás que se recoge en las chimeneas de los rellenos sanitarios y que es quemado constituye una solución simple a la reducir las emisiones de metano, sin embargo de esta solución, la recuperación y aprovechamiento del biogás puede ser un mecanismo eficiente para reducir las emisiones del metano de un relleno sanitario a la atmósfera.

Una serie de factores intervienen en la práctica en la factibilidad de capturar el volumen total del biogás que se produce, siendo los más importantes:

- a) Pérdidas de biogás que se escapan a la atmosfera a través de la superficie o de la migración lateral del mismo.
- b) Pérdida de pre-clausura, debido a la descomposición de material orgánico en condiciones aeróbicas.
- c) Otro aspecto es de frontera que causa la descomposición anaeróbica incompleta de la capa próxima a la superficie. Se puede poner como ejemplo, la adición de aire debido a la extracción del gas.
- d) Otro consideración las pérdidas debido al lavado de carbono orgánico por medio de los lixiviados.

De acuerdo a Johannessen, L. M., (1999), las pérdidas que incurren en este proceso registran valores significativos, que de acuerdo a coberturas bien diseñadas, varios rellenos logran alcanzar una recuperación del 60% del biogás que se genera, y considerando una tasa de recuperación en un rango de 40 a 50% del volumen. El rendimiento más grande de biogás generado en la práctica es de  $100 \text{ Nm}^3/\text{toneladas}$  de residuos en los sitios de disposición final, que se haya generado entre los 15 y 20 años; pero para lograr optimizar la producción del biogás en los rellenos sanitarios, por

lo tanto al realizar implementaciones de técnicas de optimización, se podrá lograr obtener iguales rendimientos de biogás por tonelada de residuos sólidos.

La eficiencia en la recuperación del biogás está ligada a la composición de los residuos y del contenido de humedad que estos tiene, por lo tanto las corrientes de residuos con contenido bajo de materia orgánica (residuos alimenticios) resultan con una menor eficiencia en su captura, a comparación de los que tienen alto contenido de carbono orgánico como los que tienen mezclados residuos de papel o lodos, capaces de lograr una mayor eficiencia en la captura del biogás producido.

Las diferentes formas de aprovechamiento del biogás esta dado a escala comercial desde muchos años atrás en varios países, como se muestra en la tabla 3.5. Por ejemplo en México la práctica vigente consiste en ventear el biogás en todos los rellenos sanitarios o botaderos a cielo abierto, con mínimas excepciones en los que se quema, aunque en condiciones operativas inadecuadas que pueden exacerbar los problemas [17].

**Tabla 3. 5 Potencial del biogás proveniente de rellenos sanitarios en varios países de Europa.**

Países europeos	Biogás (106 m <sup>3</sup> /año)	Energético como petróleo o "ACEITE" (103 ton-métricas)	Toneladas de Joules/año (103)
Bélgica	192	91	3.8
Dinamarca	105	50	2.1
Alemania	2050	966	41.0
Francia	874	413	17.0
Grecia	370	175	7.3
Irlanda	180	85	3.6
Italia	1040	490	20.0
Países bajos	560	365	11.0
Portugal	172	82	3.4
España	848	400	17.0
Reino Unido	2520	1200	50.0
Comunidad Europea	8911	4271	176.3

Fuente: WORLD WASTES. Winter 1999. The Changing Direction of European Landfills, Maggie Thurgood

Las cifras indicadas en la tabla, son valores aproximados y para estimar el potencial real de la cantidad de generación de energía eléctrica se hace factible realizar estudios particulares para cada caso.

### **3.5 FACTORES QUE DETERMINAN LA SELECCIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Los factores a considerar para tener una buena selección eficiente en la generación de energía eléctrica usando como combustible el biogás obtenido de los rellenos sanitarios tenemos:

- a) Para la transformación en energía eléctrica del biogás obtenido de los residuos sólidos, la eficiencia está determinada a la tecnología a utilizar para este fin. Esta eficiencia en términos de “tasa de calor” neta de la planta es igual a:

$$\textit{Tasa de Calor} = \frac{\textit{Energía Total (GRS)}}{\textit{Valor de energía (a la red)}} \quad \textit{Ecuación 11}$$

$$\textit{Pot. a la red} = \textit{Pot. salida Gener.} - \textit{Pérdidas parásitas} \quad \textit{Ecuación 12}$$

Las pérdidas se pueden resumir en la energía consumida por los compresores de gas, las bombas de agua, bombas de aceite, ventiladores del radiador y del generador, transformador de la subestación y servicios auxiliares.

- b) La disponibilidad, los costos de instalación, operación y mantenimiento; y las emisiones son factores relevantes a ser considerados para cada sitio específico.

En la tabla 3.6 se puede observar las características estándares de algunas tecnologías que pueden ser empleados para la generación de energía eléctrica usando el biogás como combustible.

**Tabla 3. 6 Tecnologías de uso del GRS y rangos típicos de Flujo/Potencia**

Tecnología	Rango Típico de flujo	Tamaño preferido de la Planta	Eficiencia de conversión eléctrica (neta a la red sin recuperación del calor del residuo)
Micro turbinas	< 100 cfm	< 100 Kw	25 - 30 %
Motores de Combustión Interna	> 150 a 5000 cfm	0,5 a 12MW	32 - 40 %
Turbinas de gas	> 4000 a 20000 cfm	3 a 18 MW	26 - 32 %
Turbinas de vapor	> 6000 a > 25000 cfm	10 a 50 MW	24 - 29 %
Sistemas de Ciclo Combinado	> 5000 a > 25000 cfm	> 10 MW	38 - 45 %

### 3.6 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE MODELO DE BIOGÁS DE ECUADOR

La hoja de cálculo que se utilizará para la determinación de la cantidad de biogás que se puede obtener del botadero de basura de Latacunga es el modelo de Biogás de Ecuador, el cual funciona en el ambiente de Windows 98, 2000, XP o Vista. Es una hoja de datos de Microsoft Excel, que permite al usuario un control sobre cálculos y resultados, dicha hoja utiliza para sus cálculos valores de las constantes  $L_0$  y  $k$  que son seleccionados de tablas y el modelo de Decaimiento de Primer Orden expresadas por la siguiente expresión:

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%vol} k * L_0 * M * e^{-k(t-t_0)} \quad \text{Ecuación 3}$$

Una vez iniciado el programa Excel se debe abrir el archivo del modelo “Modelo LMOP Ecuador.xls”, luego de abrirlo se puede observar en su estructura tres hojas de datos que están disponibles al hacer clic en las pestañas (tabs) localizadas en la parte inferior de la ventana del Excel, las tres hojas son:

- 1) Hoja para el ingreso de datos al modelo.
- 2) Hoja de resultados del modelo en formato tipo cuadro.
- 3) Hoja de resultados del modelo en forma de gráfica.



Cuando se utiliza la hoja de cálculo, la mayor parte de la edición por el usuario se da en la hoja de ingreso de datos al modelo, mientras que en la hoja de resultados la edición del usuario es muy reducida.

- a) **Aportes al modelo:** Todos los datos obtenidos en campo se introduce en la hoja de cálculo denominada “Entrada”, en donde las celdas con texto de color verde son en donde se debe ingresar los datos, valores indispensables para que el modelo funcione adecuadamente y entregue los resultados esperados.

En el Anexo 1, se describe el uso del programa, su funcionamiento y los pasos necesarios para el ingreso de los datos a la hoja de cálculo.

- b) **Resultados del modelo – tabla:** Todos los resultados se muestran en una tabla en la hoja denominada “Resultados-Tabla”, la misma que esta lista para ser impresa sin necesidad de realizar mayores cambios. En el Anexo 2 se puede observar un ejemplo de la tabla descrita. El título de la tabla se lo da cuando se ingresa el nombre del proyecto en la hoja de “Entrada”, los resultados obtenidos son:

- Proyección de años iniciando con el año de apertura y terminando en el año elegido por el usuario.
- Tasas de disposición anual.
- Cantidad de desechos acumulados en el lugar para cada año proyectado.
- Tasas de generación de biogás para cada año proyectado en metros cúbicos por minuto, metros cúbicos por hora y giga julios (GJ) por año.
- Eficiencia del sistema de captación para cada año proyectado.
- Tasas de recuperación de biogás para cada año proyectado en metros cúbicos por minuto, metros cúbicos por hora y giga julios (GJ) por año.
- El contenido del metano asumido para la proyección del modelo, 50% en la mayoría de casos.
- El valor k usado en la entrada del modelo.
- El valor  $L_0$  usado en la entrada del modelo.

La tabla puede mostrar hasta 100 años de estimaciones de generación y recuperación de biogás.

c) **Resultados del Modelo-Gráfica:** Otra forma de indicar los resultados es través de una gráfica en la hoja “Resultados-Gráfica”, la cual se puede ver en el Anexo 3. La información que se despliega en la gráfica es:

- Tasas de generación de biogás para cada año proyectado en metros cúbicos por minuto.
- Tasas de recuperación de biogás para cada año proyectado en metros cúbicos por minuto.
- Tasas actuales de recuperación de biogás en metros cúbicos por minuto.

### **3.7 DATOS GENERALES DEL PROYECTO.**

En este apartado se dará una breve reseña del proyecto y el lugar de estudio planteado en el presente trabajo de investigación; se analizó la infraestructura existente en el sitio y se hizo un análisis de la biomasa que existe en el botadero para la generación de biogás, y con estos análisis y resultados se logró determinar la generación, recuperación actual y futura del biogás que se pueda obtener en el botadero.

#### **3.7.1 LA EMPRESA EPAGAL.**

En el año 2010, el Municipio de Latacunga tomando en cuenta varios artículos de la Constitución de la República del Ecuador, la Ley Orgánica de Empresas Públicas, la Ley de Gestión Ambiental, Políticas Ambientales Nacionales y Ley Orgánica de Régimen Municipal creó la Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental (EPAGAL), con el fin de trabajar en el manejo de los desechos sólidos que produce la capital cotopaxense y todas sus parroquias rurales.

EPAGAL desde su creación tiene como finalidad la gestión de regular de forma eficiente la generación de residuos sólidos urbanos, domésticos, comerciales, industriales y bilógicos dentro del Cantón Latacunga, convirtiéndose en norma de estricto cumplimiento para todos los habitantes del cantón, así como también para todos los turistas que la visitan.

Dentro de los principios establecidos por EPAGAL está el garantizar la calidad y eficiencia en la prestación de los servicios, siempre apegados en las normas y estándares de calidad nacionales y extranjeras.

Contribuir de forma sostenida y sustentable a la prevención y preservación de efectos contaminantes sobre los recursos naturales; aire, suelo y agua.

Fomentar de forma consiente a la reducción, reutilización y el reciclaje de los desechos generados, mediante procesos de aprovechamiento e industrialización de los mismos.

La Generación de Residuos Sólidos que se generan en los domicilios de la ciudad y de las parroquias está ligada al número de habitantes que hay en cada localidad, en la tabla 3.7, se puede evidenciar el tamaño de la población y la generación de los residuos.

**Tabla 3. 7 Número de habitantes y generación de residuos por sector.**

<b>Ciudad y Parroquias Rurales</b>	<b>Población</b>	<b>Índice per Cápita : Kg/hab/día</b>	<b>Producción de Residuos Sólidos (Kg / día)</b>
<b>Latacunga</b>	98355	0,52	51144,6
<b>Toacaso</b>	7685		3996,2
<b>Pastocalle</b>	11449		5953,48
<b>Tanicuchí</b>	12831		6672,12
<b>Poaló</b>	5709		2968,68
<b>Mulaló</b>	8095		4209,4
<b>Joséguango Bajo</b>	2869		1491,88
<b>Guaytacama</b>	9668		5027,36
<b>Belisario Quevedo</b>	6359		3306,68
<b>Aláquez</b>	5481		2850,12
<b>Once de Noviembre</b>	1988		1033,76
<b>Total</b>	170489		

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)

Como se puede observar en la tabla anterior la generación de residuos sólidos de acuerdo al índice per cápita registrado por el EPAGAL de los sectores que pertenecen al cantón Latacunga es de 88,65 Ton/día, valores registrados para el año 2010 y que según la proyección para el año 2012 se tiene un promedio más o menos de 103.9 Ton/día.

### **3.7.2 UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO**

La disposición final de los residuos sólidos se lo efectúa en el botadero a cielo abierto controlado localizado en el Cantón Latacunga, en la parroquia urbana de Eloy Alfaro, en el sector de Chugchilan a 7 Km del centro de la ciudad de Latacunga, en la coordenada X: 760354 y coordenada Y: 9895611 obtenido mediante GPS trimble, y corresponde a las coordenadas geográficas donde está instalado el botadero de basura.



**Figura 3. 1 Ubicación del Botadero de Basura**  
**Fuente: Goolge Earth**

### **3.7.3 SUPERFICIE TOTAL DEL TERRENO**

El predio donde está ubicado el botadero es de propiedad del Ilustre Municipio de Latacunga, en donde viene operando el Municipio desde hace 33 años. La superficie ocupada por el botadero es de aproximadamente 18 hectáreas, de las cuales está ocupado 4 y disponibles 14 hectáreas en el cual se depositan diariamente una cantidad de 103,9 toneladas diarias y que a futuro EPAGAL tiene previsto la

construcción del relleno sanitario para un mejor tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

Las 4 hectáreas ocupadas en la actualidad se manejan este espacio con terrazas, y en la parte alta hay un cubeto en donde es la disposición final de los desechos infecciosos. Todo el manejo de los desechos requiere de una inversión adicional para generar un complejo sanitario municipal que permita un manejo técnicamente de la disposición final de los desechos sólidos urbanos.



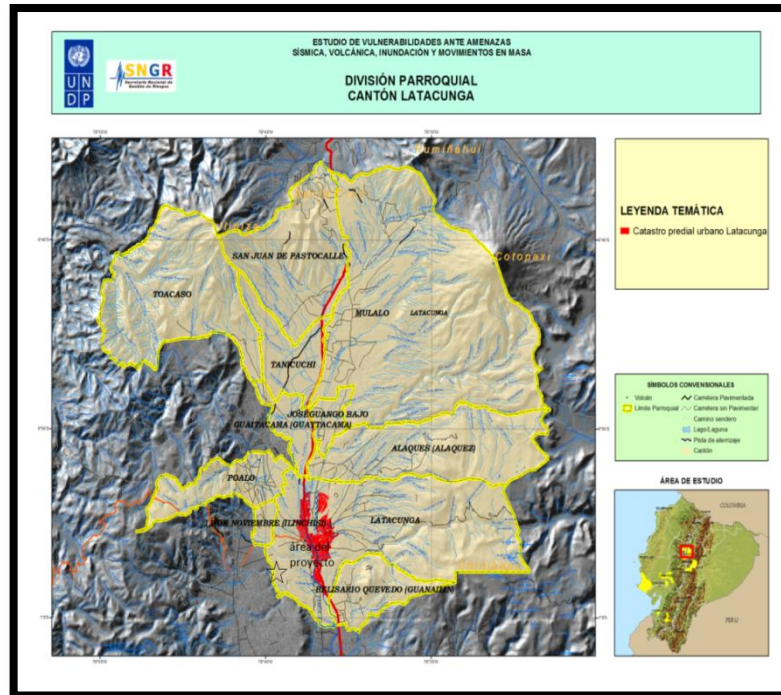
**Figura 3. 2 Botadero a cielo abierto de los desechos sólidos de EPAGAL**  
**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

Con las proyecciones de demanda realizadas se ha determinado que el botadero tiene capacidad hasta el año 2025 de recibir 103,9 toneladas al día. Se debe indicar que EPAGAL no cubre la totalidad de la demanda generada en el territorio de su competencia, por lo que se conoce que hay sectores rurales del cantón que gestionan directamente la recolección y transporte de los desechos como es el caso de la parroquia rural de Mulaló.

En la zona industrial al parecer existirá servicios informales que no cumplen con las obligaciones legales que se necesita para su recolección, utilizando formas inapropiadas para la disposición de sus desechos con la posibilidad de convertirse de alto riesgo debido a que dicha basura peligrosa puede ir a parar en lugares de acceso público, quebradas, ríos entre otros lugares.

### 3.7.4 CARACTERÍSTICAS DEL SITIO DEL PROYECTO

La zona donde está asentado el botadero tiene características de relieve moderado, los paisajes naturales son desérticos con suelos desnudos con escasa vegetación, el clima es seco, las precipitaciones son moderadas.



**Figura 3.3** Mapa base del área de estudio.

**Fuente:** Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos

### 3.7.5 VÍAS DE ACCESO

Al costado norte del botadero pasa la carretera Latacunga-Pujilí-La Mana, vía de conexión entre los cantones de Latacunga, Pujilí y La Mana, que a su vez sirve de vía principal por donde los camiones recolectores transportan los desechos sólidos urbanos desde la ciudad y sus parroquias hacia la disposición final de los residuos, y en la actualidad la nueva vía panamericana también es otra vía de acceso hasta el botadero municipal, dichas vías están en buen estado son completamente pavimentadas.

Desde la vía Latacunga-Pujilí-La Mana el botadero está a unos 600 mts y desde la vía nueva a unos 200 mts., el acceso hasta el sitio donde se depositan los residuos es de tierra y no tiene ninguna complicación en su ingreso.



**Figura 3. 4 Entrada al botadero de cielo abierto de EPAGAL**  
**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

### **3.8 INFRAESTRUCTURA**

En la actualidad el centro de Gestión de residuos sólidos (botadero a cielo abierto), no tiene obras civiles de mucha importancia, solo una casa para dos oficinas de control de ingreso de los residuos, una balanza y al momento están construyendo un espacio donde posteriormente clasificarán y reciclarán la basura.

#### **3.8.1 CENTRO DE CLASIFICACIÓN DE LA BASURA**

Hace algunos años atrás el Ilustre Municipio emprendió una campaña entregando tachos verdes y negros, para desde las viviendas clasificar la basura, pero lamentablemente el momento de la recolección mezclaban todo por lo que dicho proyecto no funciono, en la actualidad se está construyendo en los terrenos del botadero un infraestructura la cual está destinada para la clasificación y reciclado del papel, cartón, plásticos, vidrios, botellas metálicas, etc, y todo la basura orgánica depositar en el destino final de los desechos sólidos que es el futuro relleno sanitario que está proyectado construir.

#### **3.8.2 BOTADERO A CIELO ABIERTO**

El botadero de basura que maneja el GAD Municipal de Latacunga, es una de las prácticas de disposición final que ha utilizado dicho municipio para tratar de



deshacerse de los residuos que la población del cantón Latacunga produce en sus diversas actividades. Este lugar funciona con criterios técnicos mínimos, el control que existe es limitado en cuanto al control sanitario y no se impide al 100% la contaminación del ambiente; el aire, el agua y el suelo que son deteriorados por la formación de gases y líquidos lixiviados, quemas y humos, polvo y olores nauseabundos. El botadero de basura a cielo abierto existente tiene 18 hectáreas de terreno total, de las cuales está 4 hectáreas utilizadas, y se tiene 14 hectáreas libres la capacidad de almacenamiento se mide en base al área de excavación y compactación que reciben los desechos en disposición final. Al tener un botadero controlado se almacena en función de los desechos recibidos.

El proyecto del relleno sanitario que está encaminado en implementar el GAD Municipal tratará esos temas en lo futuro, pero la bibliografía sugiere que en cada metro cubico debe almacenarse un mínimo de una tonelada con un factor de compactación del 3x1.

Toda la basura recolectada por el equipo automotor con sus operarios respectivos es transportada directamente por estos, hasta la disposición final en el botadero de basura, en este lugar todos los desechos son distribuidos en el área del botadero mediante un tractor de oruga y que con el mismo los desechos son cubiertos por una capa de tierra para evitar en alguna forma que quede expuestos directamente al contacto con el aire.

La segregación de subproductos que realizan varias personas en el botadero de la basura ha permitido recuperar mediante el reciclaje ciertos materiales como el papel, cartón, vidrio, latas de aluminio que son el medio de trabajo que estas personas han encontrado en este sitio y de esta manera lograr llevar el sustento a sus hogares.

### **3.8.3 CELDA DE DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS**

Todos los desechos tóxicos que se generan en los hospitales, centro de salud, clínicas, dispensarios médicos de las empresas, son trasladados y depositados en una



cubeta que está en la parte más alta del botadero, en esta celda se controlan y se evita que se contamine el suelo y el agua.



**Figura 3.5 Celda de disposición de los residuos tóxicos**  
**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

#### **3.8.4 CERRAMIENTO QUE CUBRE EL PERÍMETRO DEL BOTADERO**

Existe construido únicamente en dos costados del botadero y en los otros solo está delimitado por unos postes de cemento dispuestos a lo largo de todo el perímetro del terreno.



**Figura 3.6 Cerramiento del Botadero de Basura**  
**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

### **3.8.5 CONTROL DE LIXIVIADOS**

Al tratarse de un botadero todos los lixiviados que se produce en el área del botadero van a dar al suelo y por ende estos se filtran en el terreno y pueden llegar a los conductos subterráneos de agua y contaminar peligrosamente este recurso natural.

### **3.8.6 FUNCIONAMIENTO**

Hasta la actualidad el funcionamiento del botadero de basura del GAD Municipal de Latacunga ha tenido el apoyo necesario de la alcaldía, quien a través de un equipo de personas que conforman la empresa EPAGAL, cubren las distintas obligaciones y necesidades que requiere el botadero.

### **3.8.7 PERSONAL QUE TRABAJAN EN EL BOTADERO**

En las instalaciones del botadero trabaja tres personas las que se encargan del control de ingreso de los vehículos recolectores y que se alternan para el tendido y cubrimiento de la basura mediante un tractor buldócer.

### **3.8.8 MAQUINARIA DISPONIBLE**

Luego del almacenamiento viene la recolección de los mismos, la cual la Municipalidad lo realiza por Administración Directa, tareas que mayor atención y esfuerzos demanda de la municipalidad, la misma que a través de EPAGAL tiene establecido horarios y rutas para poder cubrir toda la ciudad y las parroquias rurales de dicho cantón.

Todos los residuos debidamente recolectados ahora son transportados hasta su disposición final y para su transporte la municipalidad utiliza 10 carros recolectores carga posterior y un recolector del sistema contenerizado.

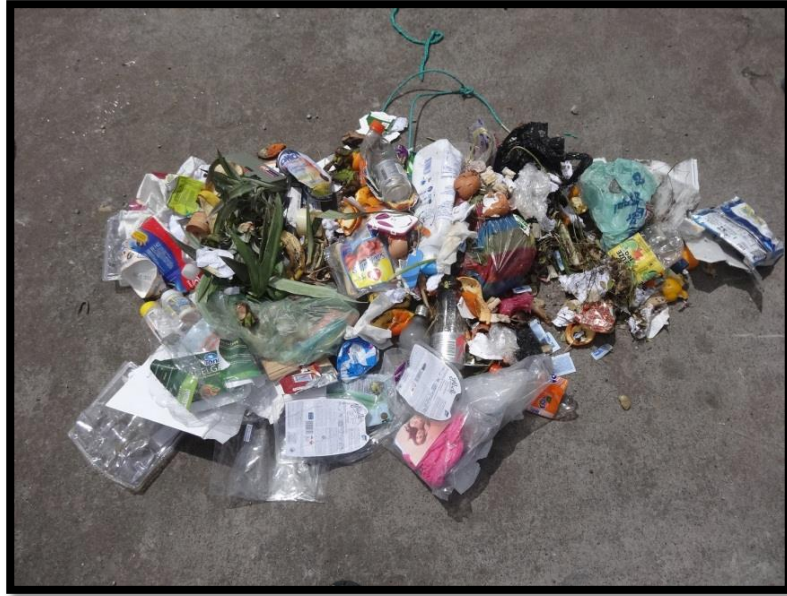
Una vez que los vehículos llegan al botadero y descargan toda la basura esta es tendido y compactada en el botadero con un tractor buldócer; esto se lo hace con la finalidad de alargar la vida útil del botadero hasta que se cuente con el relleno sanitario.

### **3.9 BIOMASA DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU)**

Los residuos sólidos urbanos son aquéllos generados por las actividades domésticas en los núcleos de población o zonas de influencia como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades diarias por ejemplo los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques. Proviene también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias, y los resultantes de las vías y lugares públicos siempre que no sean considerados como residuos de otra índole

#### **3.9.1 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS**

- **Materia Orgánica.** Componente principal de los residuos en la mayoría de los países y que representa el mayor porcentaje del total, pero hoy en día en los países desarrollados este porcentaje tiende a disminuir, esta materia tiene en su composición restos de alimentos y de actividades relacionadas con la jardinería (podas, cortado de césped, recolección de hojas, etc.)
- **Papel y cartón.** Está conformado por revistas, periódicos, cajas de cartón, etc, por su uso en casi todos lo que se expende en el mercado existe un incremento significativo hoy en día.
- **Plásticos.** Este componente de los residuos al contrario que el papel no se degradan con facilidad al paso del tiempo, su porcentaje cada año va creciendo de forma paralela al desarrollo tecnológico, se encuentra principalmente en botellas de refrescos, bolsas, embalajes, platos, vasos entre otras cosas más.
- **Textiles.** Otro componente son varias prendas de vestir, ya que una vez que las dejamos y están en malas condiciones las tiramos a la basura, y están los vestidos, elementos decorativos del hogar, pantalones, etc.
- **Metales.** Como latas de aluminio, latones, botes, etc.
- **Vidrio.** Botellas de salsas de tomate, mayonesa, frascos de mermelada, vajillas de vidrio rotas, etc.



**Figura 3.7 Ejemplo de residuos urbanos generados en las ciudades**

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

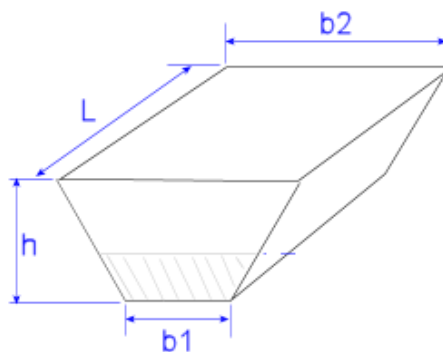
### **3.9.2 CALCULO DE LA DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS**

De la composición indicada de los residuos y con una muestra representativa se procedió con el cálculo del peso específico de los residuos sólidos que se generan en el lugar del estudio, seguidamente se puede observar dicho calculo.

#### **METODOLOGÍA.**

- 1) Determinación de los parámetros del recipiente que tiene la forma de un trapecio que contienen los residuos sólidos generados y cálculo del volumen:

Dónde:



b2 = base mayor

b1 = base menor

h = altura

L = largo

$$b_2 = 0,37 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,33 \text{ m}$$

$$h = 0,23 \text{ m}$$

$$L = 0,41 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{2}(b_2 + b_1)h * L$$

**Ecuación 13**

$$V = \frac{1}{2}(0,37 + 0,33)0,23 * 0,41$$

$$V = 0,033 \text{ m}^3$$

2) Determinación del peso de los residuos:

Para la determinación del peso de los residuos se procede con el llenado del recipiente con los residuos sólidos proveniente de una muestra aleatoria, se pesa el contenido con recipiente y desechos, luego se vacía el recipiente y se pesa el recipiente sin los desechos y mediante la siguiente expresión se determina el peso de los desechos.

$$\text{Peso desechos} = \text{Peso total} - \text{Peso recipiente}$$

**Ecuación 14**

$$\text{Peso desechos} = 8.47 \text{ Kg} - 1.50 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso desechos} = 6.97 \text{ Kg}$$

3) Con los datos del volumen y peso de los desechos se calcula el valor del peso específico de los residuos sólidos.

$$\text{Peso Especifico} = \frac{\text{Peso desechos (Kg)}}{\text{Volumen recipiente (m}^3\text{)}}$$

**Ecuación 15**

$$\text{Peso Especifico} = \frac{6.97 \text{ Kg}}{0.033 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso Especifico} = 211.21 \text{ Kg/m}^3$$

Como se puede apreciar el valor del peso específico calculado es de 211.21 Kg/m<sup>3</sup> que comparado con los valores establecidos de ciudades similares está en valores de 200 a 250 Kg/m<sup>3</sup>.

### 3.9.3 COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL BOTADERO

Como se enuncio en parraos anteriores, los residuos sólidos generados está compuesta por varios tipos de desechos que de acuerdo a los estudios realizados a nivel mundial la basura orgánica representa el 50%, situación que tanto los rellenos sanitarios como los botaderos controlados posee la mayor probabilidad de generar biogás.

### 3.9.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL CANTÓN LATACUNGA

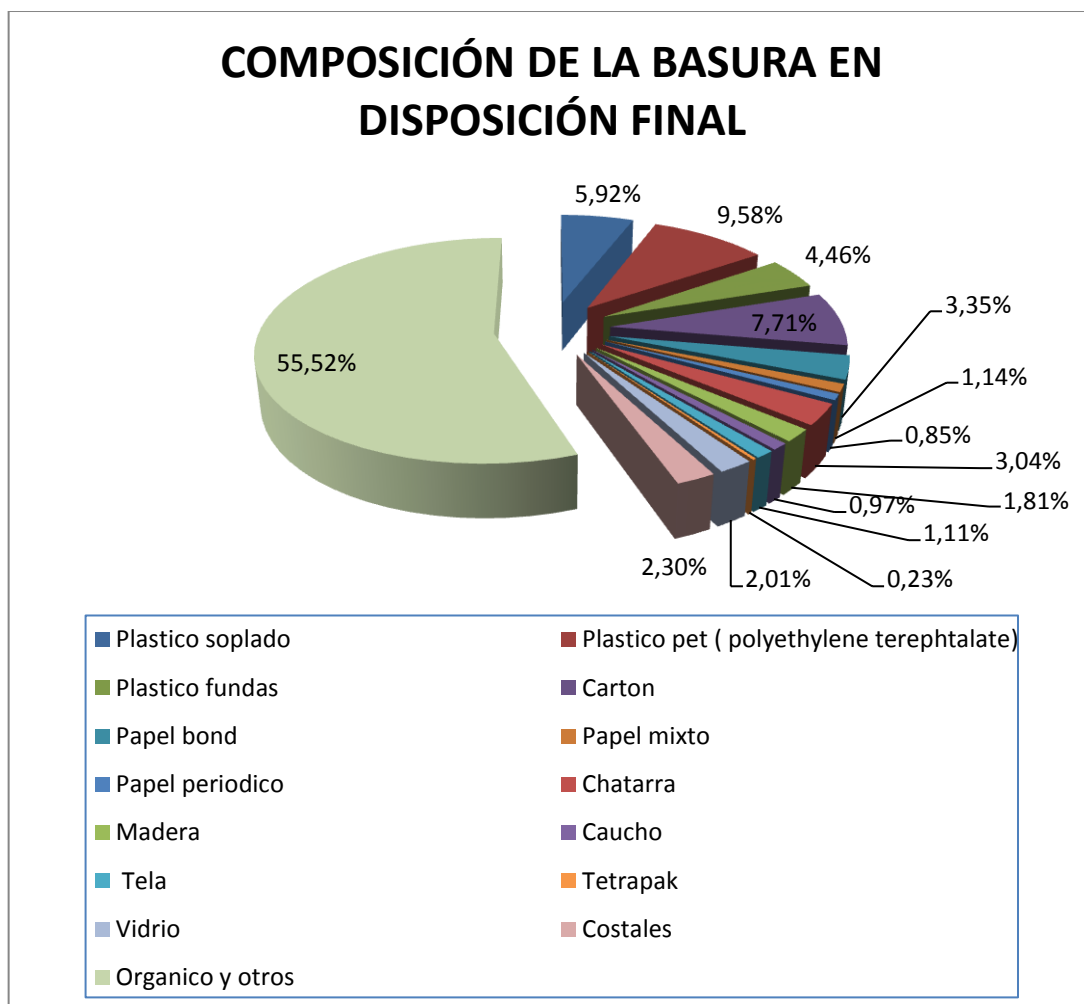
Estudios realizados años atrás para establecer la cantidad y composición de los residuos sólidos determino que en el Cantón Latacunga el 55,52% constituye de material orgánica, y el resto de residuos son materiales reciclables, en la tabla 3.8 se muestra la composición que se ha logrado obtener y son residuos que llegan al botadero en el sector de Chugchilán.

**Tabla 3. 8 Composición de la basura que se genera en el Cantón Latacunga**

<b>COMPOSICIÓN DE LA BASURA EN DISPOSICIÓN FINAL</b>		
<b>1</b>	Plástico soplado	5,92%
<b>2</b>	Plástico pet ( polyethylene terephtalate)	9,58%
<b>3</b>	Plástico fundas	4,46%
<b>4</b>	Cartón	7,71%
<b>5</b>	Papel bond	3,35%
<b>6</b>	Papel mixto	1,14%
<b>7</b>	Papel periódico	0,85%
<b>8</b>	Chatarra	3,04%
<b>9</b>	Madera	1,81%
<b>10</b>	Caucho	0,97%
<b>11</b>	Tela	1,11%
<b>12</b>	Tetrapak	0,23%
<b>13</b>	Vidrio	2,01%
<b>14</b>	Costales	2,30%
<b>15</b>	Orgánico y otros	55,52%
<b>TOTAL</b>		<b>100,00%</b>

Fuente: Empresa Pública de Aseo y Gestión Ambiental del Cantón Latacunga

El botadero de basura de Inchapo Chugchilán inicia sus actividades hace aproximadamente 30 años atrás, tiempo desde el cual ha venido recibiendo los desechos que día a día se producen tanto en la ciudad de Latacunga como en sus parroquias rurales del cantón.



**Figura 3. 8 Composición de los residuos sólidos**

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

### 3.9.5 CANTIDAD DE RSU QUE LLEGAN AL BOTADERO DE BASURA

El Volumen total de residuos sólidos que se producen diariamente, de acuerdo a la información proporcionada por el departamento EPAGAL de la Municipalidad de Latacunga en el año 2012 se obtuvo los siguientes datos de los residuos sólidos recolectados que se puede ver en la tabla 3.9.

La producción total de los residuos sólidos de acuerdo a la estadística del año 2012 se establece en un promedio de 103.9 Ton/día, como se puede ver en la Tabla 3.10, que dividido para el número de habitantes del cantón Latacunga de 170489 habitantes el índice per cápita es de 0,61 Kg/hab/día.

**Tabla 3. 9 Resumen de la producción de total de residuos sólidos por día del cantón Latacunga**

RESUMEN 2012 DE LA RECOLECCIÓN DE LA BASURA DE TODOS LOS SISTEMA												
AÑO 2012												
Operaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Recolección Comunes Domiciliares	57.7	58.1	59.3	59.5	59.0	55.8	57.0	59.3	60.0	39.3	40.3	44.4
Recolección plazas y mercados	7.9	7.2	7.3	8.7	6.7	7.0	7.7	9.0	9.3	10.0	9.8	10.8
Recolección Industrias	9.0	9.2	9.3	9.5	9.2	9.7	10.5	10.3	11.0	11.2	11.2	12.3
Recolección biológico infecciosos	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.1	0.6	0.5	0.6	0.6
Recolección sistema contenerizado	33.1	24.1	27.0	27.4	26.7	25.4	25.1	24.2	32.6	37.3	40.1	44.1
<b>Total Ton/día</b>	<b>108.2</b>	<b>99.1</b>	<b>103.5</b>	<b>105.6</b>	<b>102.0</b>	<b>98.4</b>	<b>100.9</b>	<b>103.0</b>	<b>113.5</b>	<b>98.3</b>	<b>102.0</b>	<b>112.2</b>

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

**Tabla 3. 10 Producción promedio Ton/día de residuos sólidos**

Total Ton/día, promedio del año 2012												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
108.2	99.1	103.5	105.6	102.0	98.4	100.9	103.0	113.5	98.3	102.0	112.2	103.9

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 3.10 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.10.1 NIVEL DE ESTUDIO

Exploratoria: Se realizó una investigación de campo donde se recolectaron muestras representativas de los residuos sólidos urbanos depositados en el botadero de



basura, las mismas que se tomaron aleatoriamente y se clasificaron los residuos en las diferentes categorías respectivas para su posterior análisis.

### **3.10.2 FASE DE CAMPO**

La metodología de análisis de RSU de la CEPIS (2000) que fue desarrollada por el Dr. Kunitoshi Sakurai consiste básicamente en tomar las muestras de seis sectores diferentes del botadero que se logre cubrir la mayor área al azar y proceder a pesarlas hasta obtener 50 kg de muestra aproximadamente, posteriormente se realizó tres cuarteos y en este último se obtendrá un aproximado de 5 kg de basura, con lo cual se realiza una clasificación en las distintas categorías de interés para ser analizadas posteriormente.

### **3.10.3 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

De campo: Se recolectaron las muestras de los residuos sólidos urbanos en su disposición final del botadero de basura del Municipio de Latacunga, como se indicó anteriormente se recolectaron seis fundas con los siguientes contenidos:

En la funda 1, se observó que hay el 52,89% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 4,97%, cartón con el 7,81%, vidrio con el 3,65%, textiles con un 1,99 %, papel con un 6,93%, plástico soplado HDPE con un 6,65%, el PET con el 9,94%, caucho con el 1,95% y chatarra con 3,22%.

En el funda 2, se observó que hay el 57,52% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 2,96%, cartón con el 7,52%, vidrio con el 2,86%, textiles con un 2,32 %, papel con un 6,50%, plástico soplado HDPE con un 4,84%, el PET con el 10,34%, caucho con el 3,94% y chatarra con 1,22%.

En el funda 3, se observó que hay el 45,96% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 4,82%, cartón con el 11,82%, vidrio con el 5,64%, textiles con un 3,28 %, papel con un 8,42%, plástico soplado HDPE con un 3,94%, el PET con el 9,16%, caucho con el 2,74% y chatarra con 4,22%.



**Figura 3.9 Perforación para la obtención de las muestras en el botadero de basura**

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

En el funda 4, se observó que hay el 49,88% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 4,96%, cartón con el 7,80%, vidrio con el 3,64%, textiles con un 1,04 %, papel con un 10,72%, plástico soplado HDPE con un 7,68%, el PET con el 7,38%, caucho con el 2,58% y chatarra con 4,32%.



**Figura 3.10 Recolección en otro punto del botadero de las muestras**

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

En el funda 5, se observó que hay el 47,50% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 6,92%, cartón con el 4,84%, vidrio con el 5,82%, textiles con un 2,62 %, papel con un 9,343%, plástico soplado HDPE con un 6,54%, el PET con el 9,92%, caucho con el 2,18% y chatarra con 4,32%.



**Figura 3.11 Recolección en otro punto del botadero de las muestras**

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

En el funda 6, se observó que hay el 57,74% de residuos orgánicos, bolsas plásticas con un 2,94%, cartón con el 5,80%, vidrio con el 3,62%, textiles con un 1,70 %, papel con un 4,92%, plástico soplado HDPE con un 8,64%, el PET con el 9,58%, caucho con el 1,54% y chatarra con 3,52%.

Realizado la recolección en los seis puntos del botadero seguidamente se procedió a realizar el cuarteo de las muestras recolectadas hasta poder obtener las seis fundas representativas para la determinación y tabulación de los RSU que se disponen en el botadero de basura del GAD de Latacunga, en la tabla 3.11 se puede observar la tabulación de los desechos encontrados en cada una de las muestras que se tomaron del botadero de basura en donde se realizó la investigación correspondiente.

**Tabla 3. 11 Composición física de las muestras obtenidas del botadero**

Composición de la Basura	Muestras											
	Funda 1		Funda 2		Funda 3		Funda 4		Funda 5		Funda 6	
	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%	Peso (Kg)	%
<b>Materia orgánica</b>	2,65	52,90	2,88	57,52	2,30	45,96	2,49	49,88	2,38	47,50	2,89	57,74
<b>bolsas plásticas</b>	0,25	4,96	0,15	2,96	0,24	4,82	0,25	4,96	0,35	6,92	0,15	2,94
<b>cartón</b>	0,39	7,84	0,38	7,52	0,59	11,82	0,39	7,80	0,24	4,84	0,29	5,80
<b>vidrio</b>	0,18	3,66	0,14	2,86	0,28	5,64	0,18	3,64	0,29	5,82	0,18	3,62
<b>textiles</b>	0,10	1,98	0,12	2,32	0,16	3,28	0,05	1,04	0,13	2,62	0,09	1,70
<b>papel</b>	0,35	6,92	0,33	6,50	0,42	8,42	0,54	10,72	0,47	9,34	0,25	4,92
<b>plástico soplado HDPE</b>	0,33	6,64	0,24	4,84	0,20	3,94	0,38	7,68	0,33	6,54	0,43	8,64
<b>PET</b>	0,50	9,94	0,52	10,34	0,46	9,16	0,37	7,38	0,50	9,92	0,48	9,58
<b>caucho</b>	0,10	1,94	0,20	3,94	0,14	2,74	0,13	2,58	0,11	2,18	0,08	1,54
<b>chatarra</b>	0,16	3,22	0,06	1,20	0,21	4,22	0,22	4,32	0,22	4,32	0,18	3,52

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

### 3.10.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para la determinación del contenido de humedad se usa el método denominado peso-húmedo el cual se lo expresa como un porcentaje del peso de la materia húmeda de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\%H = \frac{W-D}{W} * 100 \quad \text{Ecuación 16}$$

Dónde:

%H = Contenido de humedad en porcentaje

W = Peso inicial de la muestra conforme se entrega (kg)

D = Peso de la muestra después de ser secado a 105 °C (kg)

Para la determinación del contenido de humedad en la presente investigación, se usó los valores estándares recomendados por George Tchobanoglous en su publicación Gestión integral de residuos sólidos, los mismos que se indican en la tabla 3.12.

**Tabla 3. 12 Tabla de contenido de humedad.**

<b>Componentes</b>	<b>Contenido de Humedad %</b>
<b>Orgánicos</b>	
<b>Residuos de comida</b>	70
<b>Papel</b>	6
<b>Cartón</b>	5
<b>Plásticos</b>	2
<b>Textiles</b>	10
<b>Goma</b>	2
<b>Cuero</b>	10
<b>Residuos de jardín</b>	60
<b>Madera</b>	20
<b>Inorgánicos</b>	
<b>Vidrio</b>	2
<b>Latas</b>	3
<b>Aluminio</b>	2
<b>Otros metales</b>	3
<b>Suciedad, cenizas, etc.</b>	8

**Fuente: George Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos. Editorial McGraw-Hill, 1994**

### **3.10.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS RESIDUOS**

En caso de no poder realizar el análisis de los residuos en un laboratorio, se puede calcularse de forma aproximada la composición química utilizando datos de composiciones físicas de los mismos. En la tabla 3.11 esta tabulado los datos de la composición físicas de las muestras recolectadas en el botadero de basura de Latacunga.

### **3.10.6 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO**

Para el cálculo de forma estimada la composición química de los residuos, se utiliza tablas [18] que determinan el porcentaje de Carbono (C), Hidrogeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) y cenizas que son los componentes típicos que los RSU contienen. En la tabla 3.13 se indica la estimación de la composición química de los residuos para la muestra 1:

**Tabla 3. 13 Composición química de los residuos**

Componente	Composición Física (%peso, base seca)	Análisis último del componente					
		C	H	O	N	S	Cenizas
Materia orgánica	52,90	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Plásticos	21,54	60	7,2	22,8			10
Cartón	7,84	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Papel	6,92	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Textiles	1,98	55	6,6	31,2	4,6	0,2	2,5
Vidrio	3,66	0,5	0,1	0,4			98,9
Metales	3,22	4,5	0,6	4,3			90,5
Otros	1,94	26,3	3	2	0,5	0,2	11,18
Composición química RSU		47,68	6,18	32,88	1,8	0,28	11,18
Humedad (%peso)		59%					

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas**

### 3.10.7 PODER CALORÍFICO DE LOS RSU

En un combustible es necesario diferenciar el poder calorífico inferior (PCI) y el poder calorífico superior (PCS), diferencia que radica en la energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de combustión.

Debido a las condiciones medioambientales no se puede tener una temperatura de los gases de 0 °C, donde se podría aprovechar el calor de cambio de estado del agua (597 kcal/kg vapor de agua condensada), el PCI tiene un significado mayor en el cálculo del potencial energético de los residuos [19].

Para el cálculo del PCI se debe considerar el método analítico que usa la suma de los poderes calóricos de los elementos principales que forma parte de la muestra de basura recolectada, ponderados por su fracción en peso, descontado de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra combinada ya con el oxígeno, valores de la tabla 3.13 y la ecuación 17 que permitirá en el siguiente capítulo calcular el potencial energético contenido en los residuos disponibles en el botadero de basura:

$$PCI \left( \frac{kcal}{Kg} \right) = 8.060 * C + 33.910 * \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2.222 * S + 556 * N$$

**Ecuación 17**



Típicamente el valor de los RSU aproximado del PCI está entre 9 – 11 MJ/Kg.

### **3.11 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

En este capítulo se conoció las principales características del botadero de basura, su ubicación, las principales vías de acceso al sitio, la capacidad de residuos sólidos que puede recibir durante su vida útil, así como también se analizó los principales modelos que se pueden aplicar para los estudios en los rellenos sanitarios y poder cuantificar la cantidad y el potencial delo biogás que se puede obtener de estos sitios.

## **CAPÍTULO 4: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

El estatus de vida que los seres humanos hemos adoptado ha proliferado la generación de residuos sólidos en las principales ciudades a nivel mundial, esto es imposible evitarlo. Situación que tampoco está libre nuestro país Ecuador. Por tal razón todos los municipios de los cantones, ministerios ambientales y organismos competentes están preocupados en la creación de planes de gestión de los residuos sólidos, por cuanto al paso de los años los volúmenes se están incrementando ostensiblemente, debido al incremento de la población y en su gran mayoría al estilo de vida moderno que adoptan los habitantes de estas grandes urbes.

En el Ecuador en la gran mayoría de cantones no se han preocupado en desarrollar proyectos para un buen manejo y aprovechamiento de los desechos sólidos que día a día se produce en las principales ciudades, situación que ha provocado gran malestar a los habitantes ya que esta basura no controlada es considerada como la causante de daños en la salud de la población, foco de contaminación del suelo, agua y aire, fuente de alimentación de animales roedores, etc.

Hoy en día varios municipios están buscando cambiar esta realidad, con la construcción de rellenos sanitarios que ayuden a controlar de mejor manera los residuos sólidos, los lixiviados y los gases que se producen al interior del relleno por la descomposición de los desechos orgánicos que hay en estos residuos.

### **4.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS CLIMÁTICOS**

Dentro de los parámetros indispensables para el estudio esta las características climáticas, el clima en la ciudad de Latacunga por su ubicación geográfica y geomorfológica es templado seco, de acuerdo a la estación meteorológica en Latacunga de la DAC [20], entre los parámetros citaremos la temperatura, precipitación, humedad atmosférica, dirección y velocidad del viento, insolación, evaporación, características indispensables que intervienen en la generación del biogás en el relleno.



#### 4.2.1 TEMPERATURA DEL ÁREA DE ESTUDIO

De los datos registrados en el período de 10 años se establece como temperatura media anual de 14.1°C, observando que en los meses de junio, julio, agosto y septiembre disminuye un grado con respecto al resto de meses, la máxima temperatura absoluta registrada es de 24.0°C y la mínima temperatura absoluta promedio es de 2,8°C.

**Tabla 4. 1 Temperatura Ambiente para el Cantón Latacunga**

TEMPERATURA AMBIENTE °C														
ESTACIÓN LATACUNGA AEROPUERTO (PERÍODO 2000-2011)														
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom	Máx Abs	Mín Abs
14.5	14.5	14.3	14.2	14.2	13.3	13.2	13.2	13.6	14.6	14.6	14.5	14.1	24.0	2.8

Fuente: Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga -  
Aeropuerto (2000-2011).

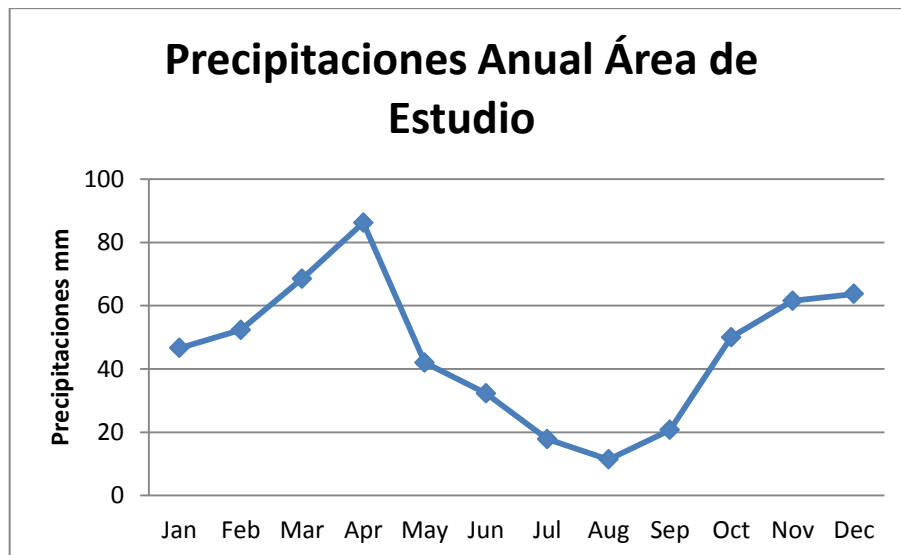
#### 4.2.2 PRECIPITACIONES DEL ÁREA DE ESTUDIO

Las precipitaciones que se dan en el sector tiene un valor anual de 553.5 mm, esta zona tiene un régimen bimodal, con dos etapas de lluvias representativas siendo el mes de abril y diciembre los de mayor precipitación. Entre estas dos etapas hay una estación seca que corresponde al mes de agosto, aunque estas condiciones últimamente están cambiado debido a los efectos del efecto invernadero.

**Tabla 4. 2 Precipitaciones Medio Mensual y Anual para el cantón Latacunga**

PRECIPITACIONES mm (Valores Mensuales Promedios)													
ESTACIÓN LATACUNGA AEROPUERTO (PERÍODO 2000-2011)													
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma	
46.6	52.3	68.5	86.2	42	32.3	17.8	11.4	20.7	50	61.5	63.7	553.1	

Fuente: Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga -  
Aeropuerto (2000-2011).



**Figura 4. 1 Precipitaciones Medio Mensual y Anual para Latacunga**

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

#### 4.2.3 HUMEDAD ATMOSFÉRICA

Los elementos como la lluvia, nubes, neblina, son fenómenos meteorológicos que junto a la temperatura, establecen la intensidad de evaporación y evapotranspiración, elementos esenciales en la presencia de la cubierta vegetal y características del suelo.

Durante el periodo de mediciones la estación registro una humedad relativa del 73.6%, distribuido aleatoriamente a lo largo del año, el registro de los valores mínimos coinciden con los meses más secos del año.

Por otra parte el comportamiento de la humedad relativa es muy similar al de la precipitación, porque está condicionada por los mismos factores que determinan el periodo de las lluvias, temperatura y está en dependencia de la cobertura vegetal presente.

**Tabla 4. 3 Humedad Atmosférica registrada para el Cantón Latacunga**

HUMEDAD ATMOSFÉRICA %												
ESTACIÓN LATACUNGA AEROPUERTO (PERÍODO 2000-2011)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
73	74	76	77	75	76	73	71	71	71	72	74	73.6

Fuente: Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga - Aeropuerto (2000-2011)

#### 4.2.4 VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

De los registros de la estación se ha determinado que la dirección del viento predominante proviene en su gran mayoría del lado Sur, en tanto que las velocidades promedio mensuales registradas en todo el año es de 5,3 *m/s*, y la velocidad máxima del viento en la zona es de 15.42 *m/s*.

**Tabla 4. 4 Velocidad del viento para el Cantón Latacunga**

VELOCIDAD DEL VIENTO m/s													
ESTACIÓN LATACUNGA AEROPUERTO (PERÍODO 2000-2011)													
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom	Máx
5.2	5.1	4.8	4.5	5.1	5.6	6.2	6	5.8	5.3	4.7	4.7	5.3	15.4

Fuente: Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga - Aeropuerto (2000-2011)

#### 4.2.5 NUBOSIDAD

La nubosidad es la fracción de octavos de cielo cubierto con nubes, en el lugar donde se ejecutará el proyecto, por lo que tienen estrecha relación inversa, es decir a mayor nubosidad existe menor brillo solar. El valor medio de la nubosidad del área de estudio es de 6.2 y varía entre 4 a 7 octavos y este valor se mantiene constante a lo largo de todo el año.

**Tabla 4. 5 Valores Medios de Nubosidad para el Cantón Latacunga**

NUBOSIDAD MEDIA MENSUAL (octavos)												
ESTACIÓN LATACUNGA AEROPUERTO (PERÍODO 1963-1989)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
6	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6.2

Fuente: Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga - Aeropuerto (1963-1989)

#### 4.2.6 EVAPORACIÓN

La evaporación es la elevación del vapor de agua a la atmosfera a una temperatura inferior a la del punto de ebullición. El valor medio de la evaporación para el Cantón Latacunga es de 1150 mm anuales. Registrándose los máximos valores en los meses de julio a agosto y de noviembre a enero. Los valores de evaporación para el lugar del proyecto varia de 44.8 mm valor mínimo en mayo y un valor máximo de 168.1 mm en enero.

### 4.3 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA DEL BOTADERO DE BASURA DE LATACUNGA.

La composición de los RSU es parte fundamental para la selección de la mejor tecnología para la conversión de estos desechos en energía. Es por ello que utilizando la norma ASTM E955 se realizó el cálculo del poder calorífico superior de las muestras de los RSU.

#### 4.3.1 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

En base a los valores contenidos en la tabla 3.8 y tabla 3.12, se realizó el cálculo de la humedad contenida en los residuos del botadero, los mismos que se pueden visualizar en la tabla 4.6

**Tabla 4. 6 Contenido de humedad de los residuos del botadero**

Componentes	Porcentaje en Peso (pt)	Contenido de humedad teórico % (h)	Peso Seco Kg. (pt*h)
Plástico soplado	5,92%	2	5,80
Plástico pet ( polyethylene terephthalate)	9,58%	2	9,39
Plástico fundas	4,46%	2	4,37
Cartón	7,71%	5	7,32
Papel bond	3,35%	6	3,15
Papel mixto	1,14%	6	1,07
Papel periódico	0,85%	6	0,80
Chatarra	3,04%	3	2,95
Madera	1,81%	20	1,45
Caucho	0,97%	2	0,95
Tela	1,11%	10	1,00
Tetrapak	0,23%	5	0,22
Vidrio	2,01%	2	1,97
Costales	2,30%	10	2,07
Orgánico y otros	55,52%	70	16,66

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 4.3.2 DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Para el cálculo de forma estimada la composición química de los residuos, se utiliza tablas 3.13 se indica la estimación de la composición química de los residuos para la muestra 1:

En base a la ecuación 17, se calculó el valor del potencial calorífico para cada uno de los componentes de los residuos sólidos que se indicaron en la tabla 3.13 de acuerdo a lo que se indica seguidamente:

$$PCI \left( \frac{kcal}{Kg} \right) = 8.060 * C + 33.910 * \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2.222 * S + 556 * N$$

$$PCI = 8.060 * 0,48 + 33.910 * \left( 0,064 - \frac{0,376}{8} \right) + 2.222 * 0,004 + 556 * 0,026$$

$$PCI = 3.868,8 + 33.910 * (0,064 - 0,047) + 8,888 + 14,456$$

$$PCI = 3.868,8 + 576,47 + 8,888 + 14,456$$

$$PCI = 4.468,614 Kcal/Kg$$

Valor correspondiente para el 100% de los residuos, multiplicando por el porcentaje correspondiente para los residuos orgánicos que es del 52.9% para la primera muestra tenemos el valor del poder calorífico para esta materia.

$$PCI = 4.468,614 * 0,529$$

$$PCI = 2.363,90 Kcal/Kg$$

En base a este procedimiento se elaboró la tabla 4.7 en donde se indica los valores del potencial calorífico para cada uno de los componentes que se encontró en las muestras del botadero de basura, así como el valor total de potencial calorífico que se puede obtener de los residuos dispuestos en el botadero de basura de Latacunga.

**Tabla 4. 7 Composición química de los residuos existentes en el botadero.**

Componentes	Poder Calorífico (Kcal/Kg)					
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
<b>Materia Orgánica</b>	2363,90	2570,35	2053,77	2228,94	2122,59	2580,18
<b>Plásticos</b>	1359,41	1144,83	1130,95	1263,48	1475,53	1335,43
<b>Cartón</b>	287,16	275,44	432,93	285,69	177,28	212,44
<b>Papel</b>	254,78	239,31	310,00	394,68	343,88	181,14
<b>Textiles</b>	106,50	124,78	176,42	55,94	140,92	91,44
<b>Vidrio</b>	2,10	1,64	3,23	2,08	3,33	2,07
<b>Metales</b>	12,36	4,61	16,20	16,58	16,58	13,51
<b>Otros</b>	59,35	120,55	83,83	78,94	66,70	47,12
<b>Promedio Parcial</b>	4445,55	4481,50	4207,34	4326,34	4346,81	4463,32
<b>Promedio Total Poder Calorífico de los residuos (Kcal/Kg)</b>						<b>4378,48</b>

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

La basura como se analizó tiene un PCI Total (kcal/kg de RSU) = 4378,48

### 4.3.3 POTENCIAL DE GENERACIÓN

Calculado el poder calorífico de los RSU, con la finalidad de aprovechar el **Potencial Energético** resulta conveniente aplicar la estrategia que denomina cogeneración en donde una parte de la energía de los residuos se aprovecha como energía térmica generalmente a través de la generación de vapor para un proceso industrial o agua caliente y otra parte se convierte en energía eléctrica.

Con el valor total PCI = 4.378,48 kcal/kg de Residuos Sólidos Urbanos y transformando a kJ/Kg

$$\frac{4.378,48 \text{ kcal}}{\text{Kg}} * \frac{4,19 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} = 18.345,83 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}$$

Utilizando la ecuación

$$Q = \dot{m} * PCI \quad \text{Ecuación 18}$$

Dónde:

Q = Calor en la cámara de combustión (kW)

$\dot{m}$  = Flujo másico Kg/s

PCI = Poder calorífico inferior kJ/Kg

Potencial para la basura

$$Q = 1,388 \times 10^{-2} \frac{Kg}{s} * 18.345,83 \frac{kJ}{Kg}$$

$$Q = 254,64 kW$$

El dato del poder calorífico de 4.378,48 kcal/kg que se ha obtenido de los residuos sólidos que se dispone en el botadero de basura, se podría usar en la incineración en una planta destinada para este tipo y con este dato se podría alcanzar un valor de generación de energía eléctrica de 254,64 kW, generación que se comparó seguidamente con la obtención y análisis del biogás que se puede obtener del botadero y destinado para el mismo fin la generación de energía eléctrica, proyectado en la implementación de una central en la que se aplicara todos los procedimientos para su cálculo y diseño.

#### **4.4 PRODUCCIÓN DEL BIOGÁS EN LA DISPOSICIÓN FINAL DE RSU**

Para el cálculo de la generación de biogás que se puede obtener en el botadero de los residuos sólidos del GAD Municipal de Latacunga, existen varios métodos que se describieron en el capítulo anterior, uno de estos métodos esta utilizado por el modelo de producción de biogás en rellenos o vertederos de residuos sólidos en Ecuador (Ecuador LFG Model). *El desarrollo del modelo específico de biogás de Ecuador es una extensión del modelo de biogás de México desarrollado por SCS Engineers bajo contrato con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos –USEPA- en el año 2003. El modelo fue recalibrado basado en la experiencia obtenida mediante la ejecución de dos estudios de pre factibilidad y ensayos de bombeo de gas llevados a cabo en el relleno Las Iguanas (Guayaquil) y relleno Pichacay (Cuenca) en marzo y abril 2007. Adicionalmente a los informes de evaluación de tres sitios, Chabay (Azogues), El Valle (Cuenca) y Loja [21].*

El modelo indicado para su estimación necesita de varios datos específicos del vertedero del proyecto, dichos datos son el año de inicio y cierre del mismo, tasas de

disposición de los desechos urbanos, precipitación promedio anual y la eficiencia de la captación del biogás.

La ecuación 6 emplea la función de decaimiento exponencial de primer orden, la misma que asume que la producción de biogás se allá en su punto máximo después de un determinado tiempo que representa una etapa previa a la producción del metano. Por lo que los modelos de Carbon Trade Ltd., como el U.S. EPA Ecuador se basan sus estudios en este modelo representado en dicha expresión.

$$Q = \sum_0^n \frac{1}{\%vol} k * Lo * M * e^{-k(t-t_o)} \quad \text{Ecuación 6}$$

$Q$  = Metano total producido (metros cúbicos normales);

$n$  = Número total de años modelados

$k$  = Constante de generación del metano;

$\%vol$  = Porcentaje volumétrico estimado de metano en el biogas.

$Lo$  = Potencial de generación del metano ( $m^3$ /Tonelada);

$M$  = Masa del residuo dispuesto (Tonelada/año);

$t_o$  = Tiempo inicial del residuo (años);

$t$  = Tiempo después del cierre del vertedero (años).

#### 4.4.1 DATOS NECESARIOS PARA LA ESTIMACIÓN Y RECUPERACIÓN DEL BIOGÁS DEL VERTEDERO

De todo lo expuesto, analizado y estudiado en la investigación se establece que el biogás empieza a generar por la descomposición de los desechos sólidos orgánicos dispuestos en un vertedero o relleno sanitario y puede ser recuperado mediante la operación de un sistema de captación de biogás debidamente planificado y construido en el sitio del relleno sanitario o el vertedero.

Bajo estos antecedentes para la estimación del biogás que se puede obtener en el vertedero es necesaria la siguiente información:

- a) **Capacidad de diseño del lugar de disposición final de los residuos**



El terreno que dispone el GAD Municipal de Latacunga es de 18 hectáreas, las cuales si se realiza cubetas de 10 metros de profundidad tendría una capacidad instalada de  $1.800.000 \text{ m}^3$ , al momento solo está ocupada 4 hectáreas y de acuerdo a las proyecciones establecidas de la demanda hasta el año 2025 tendría su vida útil con una recepción de 84 toneladas al día.

**b) Cantidad de residuos sólidos depositados en el vertedero**

En la actualidad EPAGAL tiene depositado en las 4 hectáreas que están ocupadas un total de  $400.000 \text{ m}^3$  entre desechos orgánicos y otros residuos que no ha podido ser reciclados.

**c) Constante de generación del metano (k) y potencial de generación del metano (Lo)**

➤ **Variable (k)**

La rapidez con la que la fracción de residuos orgánicos se degrada está determinada por la variable (k) y esta puede variar entre 0,1 y 0,01. Esta amplia variación disponible resulta de la disponibilidad de la cantidad de carbono orgánico en los residuos y tiene dependencia al contenido de humedad de los mismos.

➤ **Variable (Lo)**

La cantidad de metano generado por la descomposición de los desechos orgánicos está representado por la variable (Lo), esta variable tiene valores que van de  $60 \text{ m}^3/\text{tonelada}$  hasta un valor máximo de  $120 \text{ m}^3/\text{tonelada}$ . Pero para desechos que tienen su composición más inerte estos valores pueden ser relativamente bajos. Un factor potencial de dos de esta variable depende en gran escala de la cantidad de carbono orgánico contenido en los residuos y de la disponibilidad de este.

Del análisis realizado, se puede evidenciar que en las dos variables la disponibilidad del carbono orgánico tiene un papel importante en la cantidad de biogás producido, por lo que ésta es una función de las condiciones de los residuos sólidos dispuestos.

La determinación de los valores para las variables (k) y (Lo), requieren de un análisis e investigación muy detallado de las características de los desechos del sitio, condiciones biológicas del vertedero, la adición de los residuos sólidos de comunidades específicas, las condiciones ambientales, entre otras cosas más. Las estadísticas registradas de producción, extracción y aprovechamiento del biogás de varios años en sitios similares, se puede utilizar para ajustar empíricamente los valores de la variables (k) y (Lo).

Por lo indicado en el párrafo anterior en la presente investigación se va a usar los datos registrados de las experiencias de bombeo de gas de los rellenos de Pichacay y Las Iguanas en el año 2007. En la tabla 4.8 se puede observar una serie de valores de (k) y (Lo) que constan en el informe del modelo de Ecuador.

**Tabla 4. 8 Tabla de valores para las variables (k) y (Lo) modelo Ecuatoriano**

Precipitación (mm/año)	k	k	Lo	Lo
	Desecho con Comida media (=<50%)	Desecho con Comida alta (=>65%)	(m3/ Ton Métrica) Desecho con Comida media (=<50%)	(m3/ Ton Métrica) Desecho con Comida alta (=>65%)
<b>0</b>	0.04	0.043	60	62
<b>250</b>	0.05	0.053	80	83
<b>500</b>	0.065	0.69	84	87
<b>1000 / Saturado</b>	0.08	0.085	84	87
<b>2000 / Saturado</b>	0.08	0.085	84	87

**Fuente:** Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador, Christian Siliezar y Roberto Urquiao, Carbon Trade Ltda, Febrero/2009

Los valores de la tabla para las variables (k) y (Lo), son definidos para diferentes composiciones de desechos y de diferentes zonas de precipitación pluvial. Para la zona del cantón Latacunga sitio de la investigación tenemos un valor de 553 mm, valor que se está por arriba de los 500 mm al año; tomando en cuenta que el 55,52% son residuos orgánicos en el vertedero, seleccionamos los valores de (k) y (Lo) con valores de desechos orgánicos medios (=<50%), en tal razón en la tabla 4.9 se indica los valores que corresponderán para el sitio en estudio.

**Tabla 4. 9 Valores de (k) y (Lo) para el cálculo de la producción de biogás en el vertedero de basura**

Precipitación (mm/año)	k	Lo
	Desecho con Comida media (= < 50%)	(m3/ Ton Métrica) Desecho con Comida media (= < 50%)
500	0.065	84

**Fuente:** Iván Oswaldo Mena Venegas

**d) La eficiencia del sistema de captación de biogás**

El modelo adoptado para el estudio calcula la cantidad de biogás metano que está produciendo el vertedero, lo que significa que no todo el biogás que genera se puede recolectar. Por lo que es indispensable agregar un valor de Eficiencia de Captación que estima un porcentaje del biogás generado que puede ser captado. Esta captación va a depender del tipo de construcción del lugar, el nivel de agua al interior, el diseño de los pozos.

En el modelo ecuatoriano dispone de una tabla con los valores de la eficiencia de captación, los mismos que se utilizara en la presente investigación. Dicho modelo establece el uso de pozos verticales u horizontales instalados mientras se vaya vertiendo los desechos pueden poseer la mayor eficiencia de recolección. Y por último también depende del tipo de capa de cobertura que se le aplica al sitio. En la tabla 4.10 se indica los valores de eficiencia de captación.

**Tabla 4. 10 Porcentaje de Eficiencia de Captación de Biogás**

Técnica de Captación	Capa de Cobertura	
	Arcilla Saturada / Geomembrana	Arcilla No Saturada
Pozos Perforados Verticales / Colectores Horizontales	80%	70%
Chimeneas Pasivas (existentes) Convertidas	60%	40%

**Fuente:** Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador, Christian Siliezar y Roberto Urquiao, Carbon Trade Ltda, Febrero/2009.

Dependiendo de la temporada seca o húmeda en los sitios de disposición final se puede aplicar las condiciones de arcilla saturada y arcilla no saturada, por lo tanto la eficiencia debe ser calculada basada en el tiempo que la capa de cobertura satisfaga cada condición. Para el caso del estudio considerará una eficiencia en la recolección del 70%, valor que corresponde a la cobertura de arcilla no saturada.

**e) Años de operación a la fecha y años que se planea continuar operando**

El Municipio de Latacunga inicio a depositar los residuos sólidos urbanos recolectados en la ciudad desde el año 1984, por lo que hasta la presente fecha el vertedero tiene funcionando 30 años, y en los próximos años la empresa EPAGAL tiene previsto iniciar con el proyecto del relleno sanitario el mismo que tendrá una vida útil hasta el año 2025.

**f) Composición del biogás recuperado del vertedero**

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano  $CH_4$  en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en la tabla 4.11.

**Tabla 4. 11 Composición Química del Biogás**

<b>Componentes</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>Porcentajes</b>
<b>Metano</b>	$CH_4$	50-70
<b>Gas Carbónico</b>	$CO_2$	30-40
<b>Hidrógeno</b>	$H_2$	1
<b>Nitrógeno</b>	N	0,5
<b>Monóxido de Carbono</b>	CO	0,1
<b>Oxígeno</b>	$O_2$	0,1
<b>Ácido Sulhídrico</b>	$H_2S$	0,1

**Fuente: adaptado del Instituto de Investigaciones Eléctricas de México, 1980**

Estos valores varían de acuerdo al tipo de desechos dispuestos en las disposiciones finales de los mismos, por lo que de acuerdo al modelo que se asumió este indica que el biogás generado tiene un valor aproximado del 50% de

metano ( $CH_4$ ) y el restante 50% por la formación de otros gases como el gas carbónico, Nitrógeno, Hidrogeno, Oxigeno entre otros más.

**g) Masa de residuos sólidos colocados en el sitio al año, toneladas**

De los datos proporcionados por EPAGAL al vertedero llegan diariamente 103,9 ton/día, lo que significa que al año se tendrá:

$$Ton/año = 365 * 103.9$$

$$Ton/año = 37.923,50 toneladas.$$

En los últimos 6 años de registro de la cantidad de desechos que llegan al vertedero existe un incremento anual promedio del 1.9%, lo que indica que hay una mejor concientización de la población a usar productos que no generen mucho residuos sólidos y a su vez también existe el reciclado previo en los hogares y con esto no se envía todo lo que se genera al vertedero de la ciudad. En la tabla 4.12 podemos ver la cantidad de desechos sólidos que tendremos hasta el año 2025.

**Tabla 4. 12 Desechos sólidos dispuestos desde el 2016 hasta el 2030**

<b>año</b>	<b>% Incremento anual</b>	<b>Toneladas en disposición final (ton/año)</b>
<b>2016</b>	1,9	40889
<b>2017</b>	1,9	41666
<b>2018</b>	1,9	42457
<b>2019</b>	1,9	43264
<b>2020</b>	1,9	44086
<b>2021</b>	1,9	44924
<b>2022</b>	1,9	45777
<b>2023</b>	1,9	46647
<b>2024</b>	1,9	47533
<b>2025</b>	1,9	48437
<b>2026</b>	1,9	49357
<b>2027</b>	1,9	50295
<b>2028</b>	1,9	51251
<b>2029</b>	1,9	52224
<b>2030</b>	1,9	53217

Fuente: EPAGAL

Una vez que se dispone de todos los datos necesarios para la determinación de la cantidad de biogás que se puede generar en un vertedero, con la ayuda de la hoja de cálculo del modelo de producción de biogás versión 1.0, para estimar la generación en rellenos o vertederos de desechos en Ecuador (Ecuador LFG Model). Se procedió con la aplicación correspondiente para el sitio de investigación planteada el vertedero del GAD Municipal de Latacunga.

#### 4.4.2 INGRESO DE DATOS A LA HOJA ELECTRÓNICA

En la hoja de cálculo del modelo ecuatoriano de producción de biogás, procedemos con el ingreso de todos los datos necesarios y que ya disponemos todo estos datos se ingresa en la hoja con el nombre entrada. En la figura 4.9 se puede visualizar todos los datos necesarios para el cálculo de la producción de biogás que se podrá obtener del vertedero en estudio.

Figura 4. 2 Hoja de ingreso de datos para el cálculo de la producción de biogás



Biogas Latacunga [Modo de compatibilidad] - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Cortar Copiar Copiar formato Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

F31

**MODELO DE BIOGÁS DE ECUADOR [V1.1]** INSTRUCCIONES:

PARÁMETROS: Las celdas con el texto verde son las celdas de entrada. Las instrucciones en negritas describen los requerimientos mínimos de entrada.

PROYECCIONES DE GENERACIÓN Y RECUPERACIÓN DE BIOGÁS

VERTEDERO MUNICIPAL DE LATACUNGA - COTOPAXI

11-May-14

Año de Inicio de Operaciones: 1984  
 Año de Término de Operaciones: 2025  
 Precipitación Promedio Anual: 500 mm/año

Contenido de Metano en el Biogás: 50%  
 Índice de Generación de Metano (k): 0.065 1/año  
 Generación Potencial de Metano (L<sub>0</sub>): 84 m<sup>3</sup>/tonelada métrica  
 L<sub>0</sub> equivalente en unidades inglesas: 2690 ft<sup>3</sup>/ton

Ingrese el año en que el relleno sanitario empezó y dejó de recibir residuos. Ingrese las toneladas dispuestas por año en la Columna B. Seleccione la precipitación promedio anual de la estación meteorológica más cercana al relleno sanitario. Consultar el Sitio Web [www.worldclim](http://www.worldclim). Dejar el valor del contenido de metano en 50%, a menos que se requiera cambiar el valor. El Modelo asume una concentración de metano de 50%. Si el valor introducido proyectado aumentará, si el valor es mayor a 50% el flujo de biogás proyectado disminuirá. El valor k se calcula automáticamente en base a la precipitación promedio anual. El valor L<sub>0</sub> será calculado y redondeado al valor entero más cercano (m<sup>3</sup>/tonelada métrica) basado en la precipitación promedio anual.

Eficiencia del Sistema de Recolección: Ingresar los valores conocidos y/o los valores proyectados para cada año en la Columna D. La eficiencia deberá basarse en una evaluación independiente del sistema de recuperación.

Datos de Recuperación de Biogás: Ingresar en la Columna F el flujo de biogás promedio anual con metano a 50%. DEJAR EN BLANCO SI EL VALOR ES CERO.

Año	Toneladas Dispuestas (toneladas métricas/año)	Toneladas Acumuladas (toneladas)	Toneladas Masa Disponibles	Eficiencia del Sistema de Recolección	Recuperación Actual (m <sup>3</sup> /hr)
1984	22,164	22164	100%	50%	
1985	22,593	44757	100%	50%	
1986	23,030	67787	100%	50%	
1987	23,477	91264	100%	50%	
1988	23,931	115195	100%	50%	
1989	24,395	139590	100%	50%	
1990	24,867	164457	100%	50%	
1991	25,349	189806	100%	70%	
1992	25,840	215646	100%	70%	
1993	26,340	241986	100%	70%	

Precipitación (mm/año)	k Contenido Medio de Residuos de Comida o Alimenticios =<50%	k Alto Contenido de Residuos de Comida o Alimenticios->60%	L <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /tonelada métrica Contenido Medio Residuos de Comida o Alimenticios =<50%)
0-249	0.04	0.043	60
250-499	0.05	0.053	80
500-999	0.065	0.69	84
1000 - 1999 o Saturado	0.08	0.085	84
2000+ o Saturado	0.08	0.085	84

Entrada Resultados - Tabla Resultados - Gráfica

**Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas (Uso del software Modelo de Biogás de Ecuador V1.0)**

Para el caso que estamos analizando no existen tasas de recuperación del biogás en la actualidad porque se trata de un vertedero sin ningún sistema para la captación, por lo que la columna correspondiente a la recuperación actual  $m^3/hr$  quedará en blanco,

#### 4.4.3 RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL VERTEDERO

Con los datos que se ingresaron en la hoja entrada de datos, la hoja electrónica realiza los cálculos correspondientes y muestra los datos esperados en la hoja resultados – tabla, en la tabla 4.13 se puede observar los valores del índice de disposición de los residuos sólidos, toneladas acumuladas entre otros valores.

**Tabla 4. 13 Proyecciones de generación y recuperación del biogás del vertedero  
Municipal de Latacunga – Cotopaxi**

Año	Índice de Disposición	Toneladas Acumuladas	Generación de Biogás			Eficiencia del Sistema de Recolección (%)	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		
	$\frac{Tm}{año}$		$Tm$	$\frac{m^3}{min}$	$\frac{m^3}{hr}$		$\frac{mmBTU}{año}$	$\frac{m^3}{min}$	$\frac{m^3}{hr}$
2016	40,889	1,010,668	9.6	578	90,468	70%	6.7	405	63,328
2017	41,666	1,052,334	9.9	593	92,750	70%	6.9	415	64,925
2018	42,457	1,094,791	10.1	607	95,040	70%	7.1	425	66,528
2019	43,264	1,138,055	10.4	622	97,340	70%	7.3	435	68,138
2020	44,086	1,182,141	10.6	637	99,653	70%	7.4	446	69,757
2021	44,924	1,227,065	10.9	651	101,981	70%	7.6	456	71,387
2022	45,777	1,272,842	11.1	666	104,325	70%	7.8	467	73,028
2023	46,647	1,319,489	11.4	682	106,689	70%	8.0	477	74,682
2024	47,533	1,367,022	11.6	697	109,073	70%	8.1	488	76,351
2025	48,437	1,415,459	11.9	712	111,480	70%	8.3	499	78,036
2026	49,357	1,464,816	12.1	728	113,912	70%	8.5	509	79,739
2027	50,295	1,515,111	11.4	682	106,744	70%	8.0	477	74,721
2028	51,251	1,566,362	10.7	639	100,026	70%	7.5	447	70,018
2029	52,224	1,618,586	10.0	599	93,731	70%	7.0	419	65,612
2030	53,217	1,671,803	9.4	561	87,832	70%	6.5	393	61,483
<b>Contenido de Metano en el Biogás:</b>				50%					
<b>Índice de Generación de Metano (k):</b>				0.065	1/año				
<b>Generación Potencial de Metano (L<sub>0</sub>):</b>				84	m <sup>3</sup> /tonelada métrica				

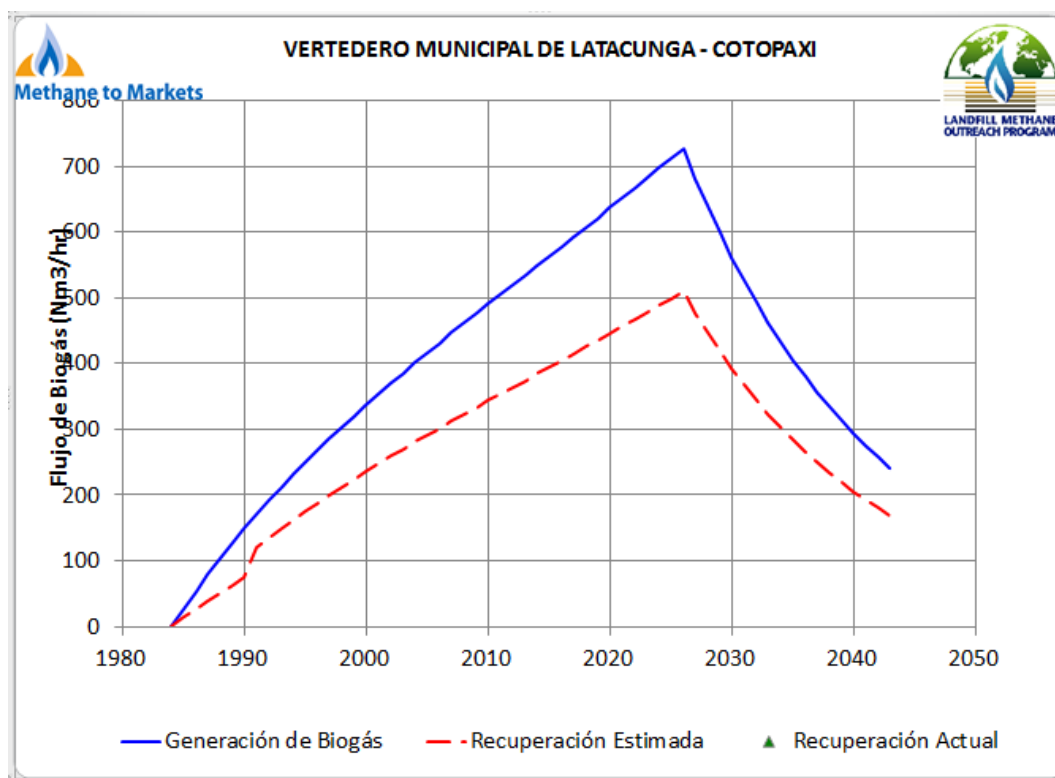
Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

#### 4.4.4 GRAFICA DE LA PROYECCIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS DEL VERTEDERO

Como se había indicado la hoja de cálculo también proporciona de forma gráfica los resultados de la proyección de generación del biogás, y que de forma gráfica es mucho más fácil de interpretar los resultados obtenidos.



**Figura 4.3 Gráfica de la proyección y recuperación del biogás del vertedero del Municipio de Latacunga**



**Fuente:** Iván Oswaldo Mena Venegas (Uso del software Modelo de Biogás de Ecuador V1.0)

#### 4.4.5 DETERMINACIÓN DEL USO DEL BIOGÁS OBTENIDO DEL VERTEDERO

El biogás se puede quemar en antorchas, o se puede instalar sistemas que lo reutilicen de alguna manera y permitan una quema más productiva. Existen varias posibilidades para su reutilización, se puede inyectar a una red de gas urbano o de ciudad, uso como combustible para vehículos, la producción de agua caliente y calor podría ser útil si existe demanda cercana, se puede generar energía eléctrica, se puede utilizar para generar vapor para procesos productivos, o en una combinación de calor y energía. En nuestro caso el mayor interés está enfocado en la generación de energía eléctrica usando el biogás como combustible.

Por otro lado, la conversión del biogás a energía eléctrica a través de turbinas a gas o motores generadores de combustión interna se puede distribuir a través de la red

eléctrica o puede ser utilizada por el consumidor más cercano, reemplazando o desplazando la generación de centrales termoeléctricas más caras y más contaminantes.

Por otra parte, debido a que el metano que se genera en la disposición de sólidos sobre tierra es uno de las mayores fuentes de emisión de los gases causantes del efecto invernadero, su captura y oxidación a dióxido de carbono resulta ser un importante beneficio ambiental.

En el siguiente capítulo procederé a realizar el análisis técnico para usar el biogás recuperado del vertedero del Municipio de Latacunga exclusivamente en la generación de energía eléctrica.

#### **4.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

El análisis de los datos tabulados en las estadísticas disponibles por EPAGAL, ha permitido establecer que hay un promedio anual de 610 m<sup>3</sup>/hr de biogás disponible que se puede obtener del botadero de basura, que comparado con valores estándares **en teoría, la cantidad de biogás que se genera de una tonelada de carbono biodegradable corresponde a 1,868 Nm<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup> = Metro cúbico normal). En países industrializados, la cantidad teórica es de 370 Nm<sup>3</sup> de biogás por cada tonelada de basura depositada [22]**, valores que permiten la instalación de un sistema de generación de energía eléctrica para aprovechar este combustible que se produce en este botadero y evitar que se eleve a la atmósfera y contribuya al calentamiento global que se está dando en el planeta.

En tal virtud es recomendable analizar y dimensionar el mejor sistema de generación de energía eléctrica para aplicar en este sitio.

## **CAPÍTULO 5: LA PROPUESTA**

### **5.1 TITULO DE LA PROPUESTA**

Propuesta de un sistema eficiente para la generación de energía eléctrica mediante el biogás recuperado del vertedero de desechos sólidos del GAD Municipal del cantón Latacunga.

### **5.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA**

Cuando se genera energía eléctrica se lo puede hacer utilizando varios métodos, los mismos que pueden utilizar diferentes tipos de combustibles como el agua, el gas, el diesel, carbón y otros más, este capítulo se enfocó específicamente al aprovechamiento del biogás recuperado del vertedero para destinarlo exclusivamente a la generación de energía eléctrica. Al usar este biogás como combustible generado en el vertedero, se está utilizando una fuente de energía alternativa o renovable que este momento está siendo desperdiciada al permitir que dichos gases se escapen a la atmósfera contaminando y ayudando al calentamiento global.

Por lo que para evitar dicha contaminación y obtener un adecuado aprovechamiento de este combustible se propuso la generación de energía eléctrica usando el biogás como combustible, el mismo que será quemado usando varias tecnologías como los motores de combustión interna, celdas de combustible, turbinas, micro turbinas, entre otros más.

### **5.3 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA**

Determinar el sistema más eficiente para la generación de energía eléctrica a través del uso racional y eficiente de la biomasa de los residuos orgánicos producidos en el cantón Latacunga.

### **5.4 ESTRUCTURA Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

La propuesta para la generación de energía eléctrica por medio del uso de la biomasa de los residuos orgánicos producidos en la zona del cantón Latacunga, está basada en la siguiente estructura, cálculo de los componentes de la planta para generar biogás,

determinación de la cantidad de biogás que se puede obtener, tipo de turbinas a utilizar, sistema de compresión y enfriamiento.

## **5.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La generación de energía eléctrica mediante el uso de combustible sea este gas natural o biogás recuperado de los vertederos o rellenos sanitarios, para su conversión existen varias tecnologías, la diferencia de aplicar una u otra tecnología está determinado en la cantidad de biogás con el cual opere, la eficiencia, las potencias máximas y mínimas, el costo de los equipos, la instalación, su funcionamiento y el mantenimiento correspondiente.

### **5.5.1 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA GENERACIÓN**

En los últimos años los avances tecnológicos han evolucionado a pasos agigantados y mucho más en los sistemas de generación distribuida para ser aplicados en proyectos de aprovechamiento del biogás recuperados de los vertederos o rellenos sanitarios, en función de este análisis elegiremos la más adecuada para el proyecto en estudio.

#### **5.5.1.1 TURBINAS DE GAS**

En los últimos años la tecnología se ha concentrado en desarrollar y optimizar las turbinas y micro turbinas de gas las mismas que se ha convertido en equipos de generación a gran escala, pero que también pueden ser usados a pequeña escala. En el mercado local e internacional existen disponibles unidades desde turbinas de pequeña potencia hasta turbinas de gran potencia.

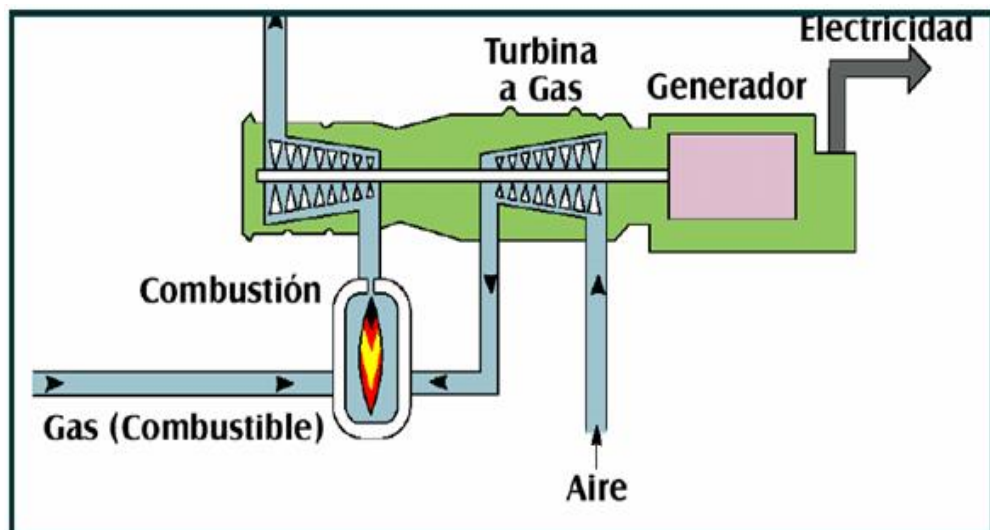
Con relación a los motores de combustión interna se puede indicar que el espacio físico que ocupan las micro turbinas es mucho menor que los motores convencionales tradicionales, los costos de mantenimiento son pequeños, la emisión de óxidos de nitrógeno a la atmósfera es relativamente baja, y en poco tiempo logra alcanzar su máxima generación nominal. La eficiencia eléctrica de este tipo de turbinas son un tanto inferiores y los costos de instalación son superiores al de los motores de combustión interna. En la tabla 5.1 se presenta una comparación de las principales características de las turbinas de gas de ciclo

simple, dentro de los parámetros están la potencia eléctrica nominal, el consumo energético, la eficiencia eléctrica, la entrada de combustible, la presión de gas requerida y el costo del kilovatio instalado.

**Tabla 5. 1 Comparación y características principales de las micro turbinas**

Características de rendimiento	Capstone modelo 330-30kW	IR Energy System 70LM*-70kW	Turbec T100-100kW	DTE**-350kW
Capacidad de Electricidad Nominal (kW)	30kW	70kW	100kW	350kW
Heat Rate electric (Btu/kWh)	14,581	13,54	12,637	11,766
Eficiencia Eléctrica (%)	23,4%	25,2%	27,0%	29,0%
Entrada de Combustible (MMBtu/hr)	0,437	0,948	1,264	4,118
Presión de gas, Combustible requerido (psig)	55	55	75	135
Costo total instado \$USD/kW	1962	1729	1320	1171

**Fuente:** Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004.



**Figura 5. 1 Estructura de la turbina a gas**

Fuente:<http://ingmecanicamc.blogspot.com/2014/04/aplicaciones-del-gas-atatural.html>

### 5.5.1.2 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La generación de energía eléctrica a partir de uso del biogás en motores de combustión interna ha sido el tema central de varios proyectos desarrollados a nivel mundial, son motores que funcionan con los mismos principios de los equivalentes de gasolina y diesel, dichos equipos funcionan con el uso de combustibles líquidos o gaseosos dentro de estos están el gasóleo, gas natural o el biogás.

El avance de la tecnología y su aplicabilidad hoy en día nos permiten disponer de potencia de estos motores desde 1 kW hasta 20 MW con una eficiencia del 30 al 50%, su característica fundamental por ser máquinas de 4 tiempos que funcionan bajo el ciclo Otto, en la tabla 5.2 se puede observar la comparación entre los diferentes tipos de motores de combustión interna utilizados para funcionar con biogás.

**Tabla 5. 2 Motores de Combustión Interna características principales**

Características de rendimiento	MAN 100kW- 0,150MW	Cummis GSK19G 0,30MW	Caterpillar G3516LE 0,80MW	Caterpillar G3616LE 3MW	Wartsila 5238LMN 5MW
Capacidad de Electricidad Nominal (kW)	100	300	800	3000	5000
Heat Rate electric (Btu/kWh)	11147	10967	10246	9492	8758
Eficiencia Eléctrica (%)	30,6%	31.10%	33.30%	36,0%	39,0%
Entrada de Combustible (MMBtu/hr)	1,11	3,29	8,2	28,48	43,79
Presión de gas, Combustible requerido (psig)	<3	<3	<3	43	65
Costo total instado \$USD/kW	1515	1200	1000	920	920

**Fuente:** Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004



**Figura 5. 2 Motor de combustión interna**

Fuente: <http://4083.mx.all.biz/planta-elctrica-a-biogas-g20297>

De acuerdo a la cantidad de biogas que se tiene disponible en el vertedero se hará la selección del tipo de motor y su respectivo generador, selección también enmarcado en su eficiencia, costo y rendimiento de acuerdo a la calidad de biogas obtenido.

### **5.5.1.3 CELDAS DE COMBUSTIBLE**

Dispositivo electroquímico cuyo concepto es similar al de una batería. Consiste en la producción de electricidad mediante el uso de químicos, que usualmente son hidrógeno y oxígeno, donde el hidrógeno actúa como elemento combustible, y el oxígeno es obtenido directamente del aire.

También pueden ser usados otros tipos de combustibles que contengan hidrógeno en su molécula, tales como el gas metano, metanol, etanol, gasolina o diésel entre otros.

Este sistema es una tecnología nueva que en el futuro tendrá muchos beneficios en la producción de energía eléctrica y cogeneración, tiene un bajo impacto ambiental, menor consumo de combustible y tiene un elevado rendimiento.

En la actualidad esta tecnología tiene una gran desventaja, porque necesita un combustible muy puro por lo tanto requiere de inversiones muy altas para su construcción, así como los materiales usados son muy costosos, por lo que este sistema no es competitivo respecto a las turbinas de gas y los motores de combustión interna.

En la tabla 5.3 se indican las principales características de los tipos de celdas de combustibles y en la tabla 5.4 se indica las aplicaciones que podemos encontrar.

**Tabla 5.3 Características de las Celdas de Combustible**

Características de rendimiento	TIPO DE CELDA					
	Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	Oxido Sólido (SOFC)	Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	Ácido Fosfórico (PAFC)	Carbonatos Fundidos (MCFC)	Carbonatos Fundidos (MCFC)
Capacidad de Electricidad Nominal (kW)	10	100	200	200	250	2000
Heat Rate electric (Btu/kWh)	11370	7580	9750	9480	9730	7420
Eficiencia Eléctrica (%)	30,0%	45,0%	35,0%	36,0%	43,0%	46,0%
Combustible	$H_2$	$H_2, CH_4, CO$	$H_2$	$H_2$	$H_2, CH_4, CO$	$H_2, CH_4, CO$
Entrada de Combustible (MMBtu/hr)	0,1	0,8	2,0	1,9	2,0	14,8
Costo total instalado \$USD/kW	5500	3500	3600	4500	5000	2800

Fuentes: 1) Tecnologías de generación distribuida: Costos y eficiencia, Francisco M. González - Longatt, 2004

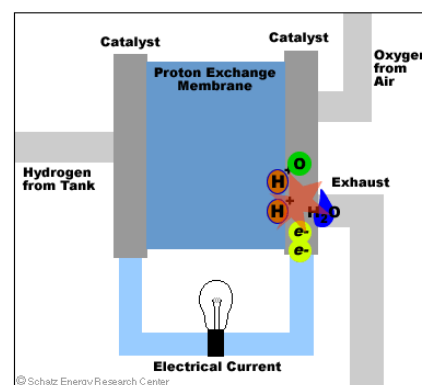
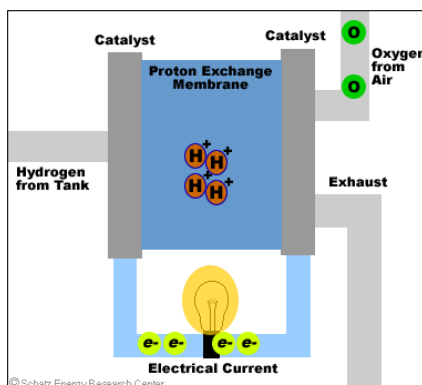
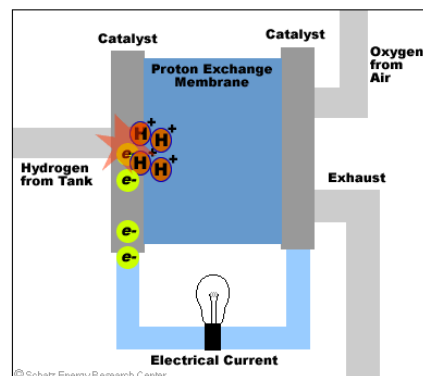
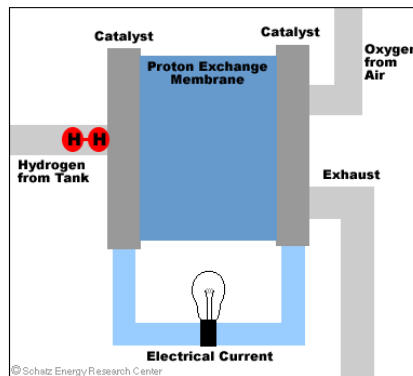
2) Micro generación con pilas de combustible a gas natural, A.M<sup>a</sup> Gutiérrez, Coordinador de Proyectos de Desarrollo y Tecnología de la Sociedad de Gas Euskadi, S.A. (Grupo EVE)

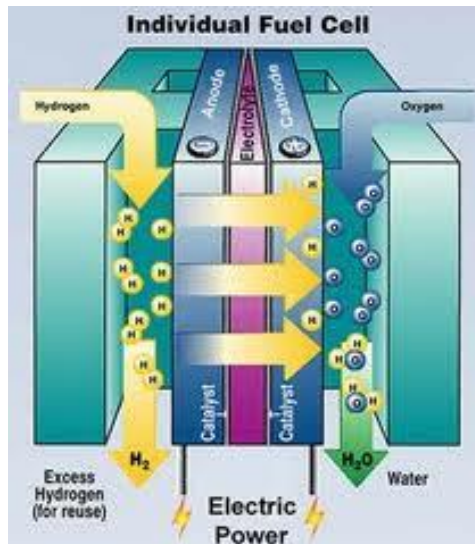


**Tabla 5. 4 Aplicaciones previstas para distintos tipos de pilas de combustible.**  
**CHP: central heat and power; APU: auxiliary power units; UPS:**  
**uninterruptible power supply.**

Aplicación	Potencia	Tipo Celda	Combustible
Portátiles	1-50 W	PEMF, DMFC, IT-SOFC	$H_2, CH_3OH$
Micro-CHP	1-10kW	PEMFC, IT-SOFC	$CH_4$
APU, UPS motos	1-10 kW	IT-SOFC	Gasolina, Gases licuados
CHP inmuebles	50-250 kW	PEMF, SOFC, MCFC	$CH_4$
Autobuses urbanos	200 kW	PEMFC	$H_2$
Centrales eléctricas	1 - 10 MW	SOFC	$CH_4$

Fuente: <http://fmc.unizar.es/people/rmerino/papers/divsofc.pdf>





**Figura 5. 3 Pila o celda de combustible.**

Fuente: <http://www.ecured.cu/index.php/Archivo:Combust.jpg>

### **5.5.2 POTENCIA ELÉCTRICA PROYECTADA PARA LA GENERACIÓN**

Todas las tecnologías que se han analizado en los apartados anteriores son ampliamente aplicadas en todo el mundo, es así que el uso de las micro turbinas está siendo muy difundido para plantas de generación eléctrica con biogás en varios países como Francia, Finlandia, Alemania, Estados Unidos, Suecia, España entre otros más. En tanto que los motores de combustión interna hay un sin número de proyectos en donde se están utilizando estos equipos entre ellos están; Simeprodeso (México), Bandeirantes (Brasil), Central Loma los Colorados (Chile). Y por último la aplicación de las celdas de combustible se está dando con gran éxito en proyectos como Posco Power (Corea del Sur), Chubu Electric (Japón), Braintree Electric (Boston EEUU).

Para determinar adecuadamente la tecnología que será utilizada en el presente proyecto, se establece realizar una matriz de decisión, la misma que estará enmarcada en opciones y criterios, considerando los siguientes criterios para la selección:

1. Costo del kW de potencia instalada
2. Costos de mantenimiento de los equipos

3. Porcentaje de contaminación
4. Consumo de combustible
5. La aplicación de la tecnología a nivel mundial.
6. La eficiencia eléctrica de los equipos
7. Disponibilidad en el mercado comercial

De acuerdo a los criterios indicados, para los criterios 1, 2, 3, y 4 se consideró los siguientes valores de calificación: Alto = 1, Medio = 3, Bajo = 5, y para los criterios 5, 6 y 7 se ha establecido los siguientes valores de calificación como: Alto = 5, Medio = 3, Bajo = 1, de esta calificación establecida y aplicando a la matriz de decisión en la tabla 5.5 tenemos los resultados esperados.

Todos los criterios que se han indicado están en dependencia de la potencia eléctrica de los equipos que se recomendarán para usar en esta investigación, y de acuerdo a la tecnología existente se eligió la potencia más próxima a los 1078 kW (De acuerdo a la proyección de la máxima potencia instalada en la central).

**Tabla 5. 5 Matriz de Decisiones para la selección de la tecnología adecuada**

<b>MATRIZ DE DECISIONES</b>			
<b>CRITERIOS</b>	<b>OPCIONES</b>		
	Turbinas de gas	Motor de combustión interna	Celdas de combustible
<b>1. Costo del kW instalado*</b>	3	5	1
<b>2. Costo de mantenimiento</b>	5	1	3
<b>3. Grado de contaminación</b>	3	1	5
<b>4. Consumo de combustible*</b>	1	3	3
<b>5. Aplicación de la tecnología a nivel mundial</b>	5	5	1
<b>6. Eficiencia Eléctrica*</b>	1	3	5
<b>7. Disponibilidad comercial</b>	3	5	1
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>19</b>

**Fuente:** Iván Oswaldo Mena Venegas (\*Tabla 5.1, 5.2, 5.3)

Analizado las tecnologías disponibles, y con la matriz de decisión, sumando los puntajes para cada uno de los equipos planteados, se puede observar en la tabla 5.5 que el mayor puntaje corresponde a los motores de combustión interna, en comparación con las otras dos alternativas, en tal sentido estos equipos son los que se dejará planteado como tecnología de uso cuando se disponga de los recursos económicos para este fin, por parte del GAD Municipal de Latacunga.

Una vez determinado el tipo de tecnología que se podrá utilizar, es necesario conocer la potencia eléctrica que se podrá obtener a partir del biogás generado y recuperado del vertedero de basura, para lo cual es necesario convertir la cantidad de volumen de biogás en energía eléctrica, para este paso se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- De acuerdo a lo indicado en la tabla 4.11, en 1  $m^3$  de biogás generado en un relleno sanitario o botadero de basura, contiene entre un 50 a 70% de  $CH_4$ , para efecto del estudio se asumió el valor más bajo 50%.
- En base a la tabla 2.3 y considerando que se le dará un filtrado al biogás para eliminar las impurezas el valor calorífico del metano  $CH_4$  es de  $10,8 kWh/m^3$ .
- El valor de la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna es del 38%.

Con los valores indicados se calculó la energía eléctrica neta que se podrá obtener del vertedero de basura.

- Potencial energético de 1  $m^3$  de biogás será:

$$50 \% * 10,8 kWh/m^3 = 5,40 kWh/m^3$$

Con esta expresión se puede calcular el potencial energético para cualquier volumen de gas que se pueda obtener del vertedero de basura.

- La potencia eléctrica neto se lo calcula multiplicando el volumen anual del biogás del vertedero en  $m^3/h$  con el potencial energético de 1  $m^3$  del biogás y la eficiencia eléctrica de los motores de combustión interna.

$$PE_n = \text{Volumen de biogas (m}^3/h) * 5,40 \text{ kWh/m}^3 * 0,38 \quad \text{Ecuación 19}$$

Con la expresión indicada y utilizando los valores del biogás que se puede recuperar del vertedero tabulados en la tabla 4.13, se puede obtener los valores de potencia eléctrica que se puede recuperar del sitio de disposición final de los residuos sólidos del GAD Municipal de Latacunga. Como se indica en la tabla 5.6.

**Tabla 5. 6 Generación de Energía Eléctrica con el biogás recuperado del botadero de basura.**

Año	Recuperación de Biogás del Sistema Existente/Planeado		Potencial Energético	Potencia Eléctrica Neta
	(m <sup>3</sup> /min)	(m <sup>3</sup> /hr)	kWh/m <sup>3</sup>	kW
2016	6.7	405	2184.63	830.16
2017	6.9	415	2239.73	851.10
2018	7.1	425	2295.03	872.11
2019	7.3	435	2350.58	893.22
2020	7.4	446	2406.43	914.44
2021	7.6	456	2462.64	935.80
2022	7.8	467	2519.26	957.32
2023	8.0	477	2576.33	979.00
2024	8.1	488	2633.91	1000.88
2025	8.3	499	2692.03	1022.97
2026	8.5	509	2750.76	1045.29
2027	8.0	477	2577.65	979.51
2028	7.5	447	2415.43	917.86
2029	7.0	419	2263.42	860.10
2030	6.5	393	2120.98	805.97

**Fuente:** Iván Oswaldo Mena Venegas

## 5.6 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA CENTRAL PROPUESTA

Una vez que se ha establecido cuanta energía eléctrica se puede generar con el biogás recuperado del botadero de basura, se dejará establecido las características técnicas y eléctricas de la central a biogás que se debería instalar para el aprovechamiento de este combustible.

### 5.6.1 POTENCIA INSTALADA

La potencia instalada dependerá del número de unidades generadoras y del valor de la potencia nominal de cada grupo generador, que sumado nos dará el valor de la potencia instalada de la central propuesta.

Para determinar exactamente la potencia instalada de la central antes de que inicie su funcionamiento, hay que tener en cuenta un factor muy importante para tener la potencia eficaz es la de afectar al valor de la potencia nominal de los grupos electrógenos por el factor de corrección de la altura, ya que dicho valor se ve afectado por la altura en donde van a ser instalado dichos generadores. Para los motores de combustión interna se estima que a partir de resultados analíticos que los motores pierden un 14% de su potencia a 1500 msnm y un 23% a 2600-2800 msnm [23], en tal consideración dicho factor se aplicara para determinar la potencia real de la central.

La central a biogás que se instalará en el botadero de basura, la potencia de generación con el pasar de los años se podrá incrementar los grupos generadores para lograr aprovechar todo el biogás que se recuperará del mismo, todo esto será posible debido al aumento de biogás que se dará por el incremento gradual de los desechos en el botadero y que se irán descomponiendo al paso del tiempo hasta alcanzar el final de la vida útil del botadero de basura.

Para el caso de la investigación se deja establecido que con los valores obtenidos el incremento de potencia se lo debería realizar hasta el año 2026, en donde se da la máxima generación de biogás y de ahí en los siguientes años el biogás producido se mantiene constante un cierto periodo y paulatinamente irá disminuyendo.

Para fines del estudio se establece que la central tendrá una vida útil de 20 años, en tal razón la potencia inicial para la central será de 1120 kW distribuido en 4 generadores de 280 kW y que se podría arrancar su operación en el año 2016 y luego en el año 2024 se incrementará dicha potencia con un generador más de 280 kW, que sumará una potencia de 1400 kW que afectado por el factor del 23% de pérdida debido a la altura tendremos una potencia efectiva de 1078 kW, que será suficiente para el aprovechamiento del biogás que se logrará recuperar del botadero y

convertirlo en energía eléctrica. En la tabla 5.7 se puede visualizar la distribución de los generadores de acuerdo al año de su instalación.

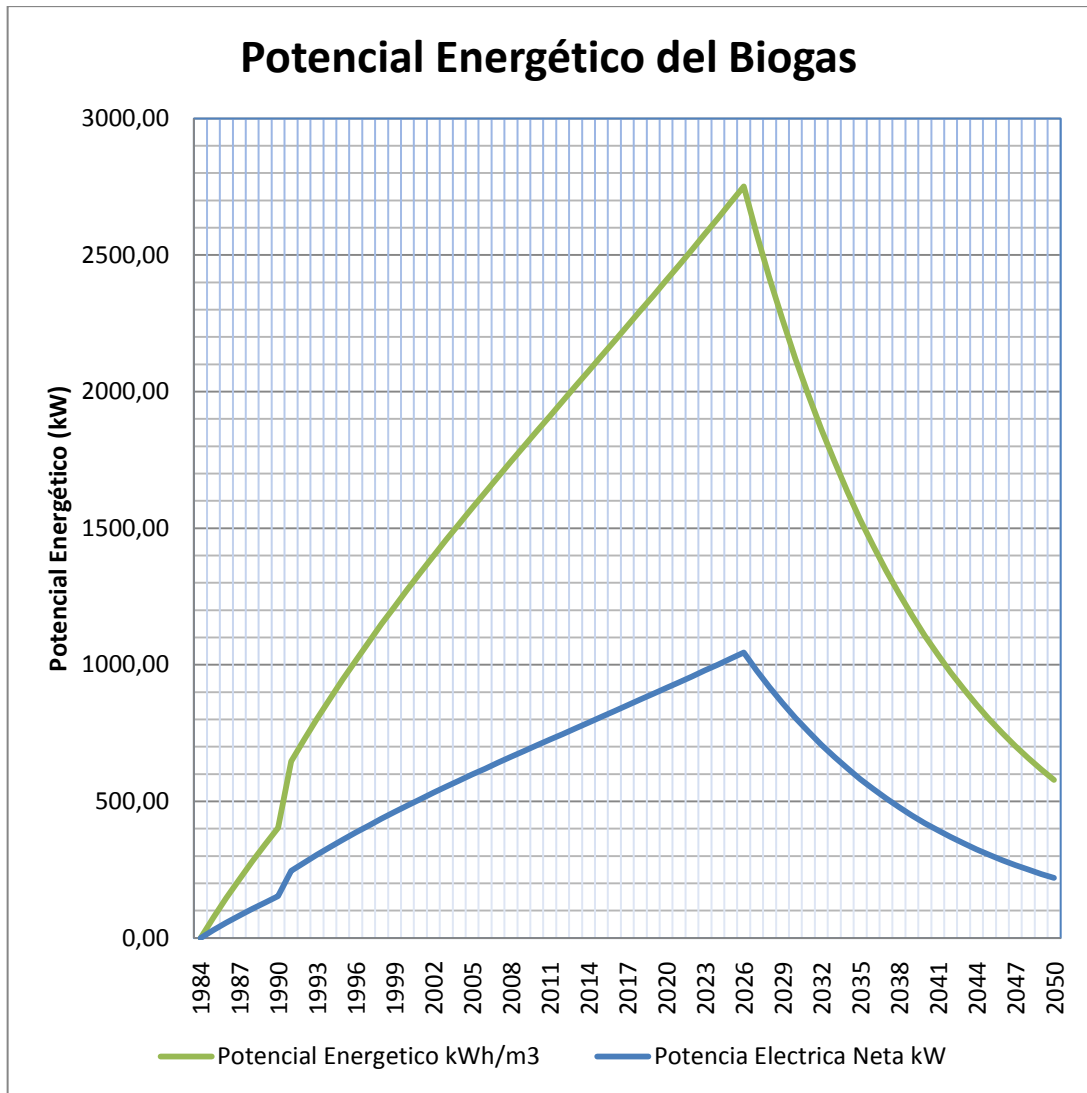
**Tabla 5. 7 Tabla de instalación de generadores en la central de acuerdo a los años de funcionamiento**

<b>Año</b>	<b>No. Generadores</b>	<b>Potencia Nominal</b>	<b>Pérdidas por la altura</b>	<b>Potencia Efectiva</b>	<b>Potencia Total Generación</b>
2016	4	280	64,4	215,6	862,4
2017	4	280	64,4	215,6	862,4
2018	4	280	64,4	215,6	862,4
2019	4	280	64,4	215,6	862,4
2020	4	280	64,4	215,6	862,4
2021	4	280	64,4	215,6	862,4
2022	4	280	64,4	215,6	862,4
2023	4	280	64,4	215,6	862,4
2024	4	280	64,4	215,6	862,4
2025	5	280	64,4	215,6	1078
2026	5	280	64,4	215,6	1078
2027	5	280	64,4	215,6	1078
2028	4	280	64,4	215,6	862,4
2029	4	280	64,4	215,6	862,4
2030	4	280	64,4	215,6	862,4

**Fuente:** Iván Oswaldo Mena Venegas

En la figura 5.4 se puede visualizar la proyección del potencial energético del biogás disponible en el botadero, y la potencia eléctrica neta que se podrá generar con la captura del biogás.

Considerando que las centrales durante el año tienen que salir por mantenimiento entonces su funcionamiento se verá afectado reduciéndose más o menos al 85% del total de su tiempo por lo tanto se tendrá un valor de 7446 horas al año.



**Figura 5. 4 Potencial Energético del Biogás disponible**

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 5.6.2 FACTOR DE PLANTA

Consiste en un indicador que permitirá estudiar la viabilidad técnica-económica para que un proyecto de generación de energía eléctrica pueda ser implementado, con este indicador se puede estimar que cantidad de energía se puede generar con la central de biogás. Este indicador por varias contingencias inesperadas en la generación puede tomar diferentes valores (sobreproducción o sub-producción), para ciertos tipos de centrales este indicador toma valores fijos.



El factor de planta viene a ser la relación entre la energía eléctrica producida de un generador o varios generadores en un intervalo de tiempo determinado, y la energía que habría sido producida si el generador o varios generadores hubiese funcionado durante el mismo intervalo de tiempo a su máxima potencia. Dicho indicador esta expresado en porcentaje y se lo puede obtener por la siguiente expresión.

$$FP = \frac{Pot.med. de la central}{Pot.máx.de la central} \leq 1 \quad \text{Ecuación 20}$$

De acuerdo a las tecnologías existentes para la generación de energía eléctrica los factores de planta son, los mismos que se pueden ver la tabla 5.8.

**Tabla 5. 8 Factor de planta de centrales de generación eléctrica**

<b>Tecnologías de Generación</b>	<b>Factor de Planta</b>
<b>Parque eólico:</b>	20-40%.
<b>Panel fotovoltaico:</b>	10-15%.
<b>Central hidroeléctrica:</b>	60%.
<b>Biomasa</b>	85%
<b>Central nuclear:</b>	60%-98%.
<b>Central termoeléctrica a carbón:</b>	70-90%.
<b>Central de ciclo combinado:</b>	60%

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Factor\\_de\\_planta](http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_planta)

<http://www.centralenergia.cl/2011/01/31/la-era-de-las-termoelectricas/>

Como se puede observar para la central de biomasa o biogás se tiene un valor del 85% el factor de planta, valor considerado muy bueno en comparación a las otras centrales.

### 5.6.3 POTENCIA FIRME

Las energías renovables tienen un problema grave para ser la parte mayoritaria de la generación eléctrica: No aseguran la producción de electricidad en las horas de mayor consumo. Esta condición se podría reconducir con políticas adecuadas, pero en la actualidad no hay voluntad para reconducir la situación.

Salvo la geotérmica y la de biomasa las energías renovables presentan una impredecible fluctuación natural, como por ejemplo en la eólica, en donde existe meses durante el año no existe viento y los aerogeneradores no pueden generar, por dicha razón la garantía de potencia firme puede ser muy baja en algunas centrales de energía renovable.

Considerando un factor de planta de 0,7 en la tabla 5.9 se puede observar valores promedio de potencia firme para las distintas tecnologías de energías renovables.

**Tabla 5. 9 Potencia Firme disponible en centrales de Energía Renovables.**

TECNOLOGÍA	POTENCIA FIRME (Fp=0,7)
Hidroeléctrica	0,42
Eólica	0,21
Geotérmica	0,63
Solar	0,175
Biomasa y Biogás	0,595
Mareomotriz (olas)	0,28

**Fuente:** Ley de fomento a las ERNC, Breve evaluación económica y determinación de viabilidad de las distintas tecnologías de ERNC para el caso Chileno con la nueva ley de energías renovables, Hernán Ulloa, 2008.

#### 5.6.4 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA MEDIA ANUAL

Para determinar la producción de la central es necesario considerar la potencia instalada, las horas de funcionamiento anuales y el factor de planta, con lo cual calcularemos la energía media anual, de acuerdo a lo siguiente.

$$\text{Producción energética anual} = \text{Potencia instalada} * 7446 \text{ horas} * 0,85$$

**Ecuación 21**

Como se había indicado la central tendrá una vida útil de 20 años, bajo dicha consideración en la tabla 5.10 se puede visualizar la producción energética de la central durante este tiempo.

**Tabla 5. 10 Estimación de la producción de energía eléctrica anual.**

Potencia instalada [kw]	Años de operación	Horas funcionamiento	factor de planta	MWh al año
840	2016	7446	0.85	5316.44
840	2017	7446	0.85	5316.44
840	2018	7446	0.85	5316.44
840	2019	7446	0.85	5316.44
840	2020	7446	0.85	5316.44
840	2021	7446	0.85	5316.44
840	2022	7446	0.85	5316.44
840	2023	7446	0.85	5316.44
1400	2024	7446	0.85	8860.74
1400	2025	7446	0.85	8860.74
1400	2026	7446	0.85	8860.74
1400	2027	7446	0.85	8860.74
1400	2028	7446	0.85	8860.74
1400	2029	7446	0.85	8860.74
1400	2030	7446	0.85	8860.74

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 5.6.5 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS GENERADORES

De acuerdo a los datos encontrados y con la finalidad de poder aprovechar el potencial del biogás que se genera en el botadero de basura, es necesario la instalación de cinco grupos electrógenos que usaran el biogás como combustible para transformar en energía eléctrica.

Varios fabricantes a nivel mundial han desarrollado grupos de generación eléctrica con biogás obtenida de la biomasa sean estos de rellenos sanitarios, biodigestores, botaderos de basura entre otros para pequeños, medianos y grandes productores de biomasa residual, con potencias desde 10 hasta 1000 kW, la selección del tipo de motor más adecuado para la aplicación requerida está en función de la mínima calidad del biogás requerido que para el estudio es del 50%, la eficiencia eléctrica de los motores estipulada en un 38% consideraciones principales y las secundarias establecidas en el costo del equipo, el mantenimiento, instalaciones y disponibilidad en el mercado, conforme a lo indicado en la tabla 5.11 se muestra un ejemplo de las características de un motor generador que usa como combustible el biogás para su

funcionamiento de la marca MAN y que cumple las condiciones descritas anteriormente, en el mercado nacional e internacional existe varios tipos de estos equipos de los cuales se puede elegir el de menor costo posible y menor mantenimiento.

**Tabla 5. 11 Características técnicas motor-generador de energía proyectado**

<b>MOTOR</b>	<b>MAN E2848 LE322</b>
<b>Número de cilindros</b>	8 en V 90°
<b>Desplazamiento cubico</b>	14.6 litros
<b>Tiempos</b>	4
<b>Aspiración</b>	Turbocompresor
<b>Tipo de Combustible</b>	Biogás
<b>Sistema de Encendido</b>	AFS
<b>Enfriamiento</b>	Agua
<b>Sistema Eléctrico</b>	12 V.
<b>Sistema de Combustión</b>	Mezclador IMCO
<b>Tipo Encendido</b>	Electrónico
<b>Regulador de velocidad</b>	Woodward
<b>Eficiencia mecánica</b>	37.90%
<b>Eficiencia térmica</b>	51.30%
<b>GENERADOR</b>	Alternador Leroy Somer LSA 44.2 VL12
<b>Capacidad del Generador</b>	280 kW
<b>Voltaje de Generación</b>	220/440 V
<b>Factor de Potencia</b>	0.8
<b>Frecuencia (Hz)</b>	60
<b>RPM del motor</b>	1800
<b>Fases</b>	3
<b>No. Conductores</b>	4
<b>Ciclo de Operación</b>	Continuo y/o intermitente

Fuente: [www.aqualimpia.com/PDF/Generadores-Motores-MAN.pdf](http://www.aqualimpia.com/PDF/Generadores-Motores-MAN.pdf)

### **5.6.6 UBICACIÓN DE LA CENTRAL EN EL BOTADERO DE BASURA Y CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA**

Analizado todo el área del botadero de basura y visualizando la mejor alternativa de ubicación de la central eléctrica, se establece que la mejor ubicación estaría al pie de la montaña de residuos sólidos acumulados y también considerando que por un

costado pasa la línea de distribución de 13.8 kV de la subestación San Rafael que permitirá de una forma segura y con un menor costo de inversión la interconexión de dicha central a la red indicada para evacuar la energía generada para su aprovechamiento por los usuarios de energía de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi, en la figura 5.5 se puede apreciar el lugar donde se ubicaría a lado de la estructura de vivienda existente.



**Figura 5. 5 Ubicación de la central eléctrica en el botadero de basura.**

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### **5.6.7 ESQUEMA TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA PARA UN RELLENO SANITARIO O BOTADERO DE BASURA**

El diseño de los rellenos sanitarios tiene como finalidad dos aspectos importantes a considerar en la minimización de la contaminación ambiental y el aprovechamiento del gas generado capturándolo de forma adecuada para ser usado como combustible en la generación de energía eléctrica, la misma que en este caso será suministrado a la red de la empresa eléctrica.

En la figura 5.6 se puede identificar la configuración de un ejemplo tipo para la distribución y posición de los diferentes elementos que son parte integrante de una central eléctrica en un relleno sanitario o botadero de basura y que usará el biogás como combustible.



**Figura 5. 6** Proceso de captación y uso del biogás de un relleno sanitario.

**Fuente:** <http://ayresresiduos.com.mx/featured-page-3/>

1. Captación del relleno sanitario
2. Sistema de Conducción del biogás
3. Sistema de Bombeo, condensados y quemado
4. Sistema de Generación
5. Sistema de Transformación del voltaje (elevación)
6. Sistema de interconexión a la red de distribución
7. Sistema de Transmisión de la energía
8. Sistema de reducción de voltaje y distribución de la energía
9. Consumo de energía.

### **5.6.8 CICLO DE CAPTURA Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS DEL BOTADERO DE BASURA**

Como se había indicado en párrafos anteriores el sitio del estudio se trata de un botadero de basura con un pequeño control, toda la basura que llega es depositada en un solo sector para luego con un tractor distribuir en toda el área destinada y luego ser tapada con una capa de tierra, en tal circunstancia para poder capturar y aprovechar se debería tomar en consideración los siguientes aspectos para la captación del biogás.

- a) El botadero de basura desde en sus inicios recibía los residuos sólidos y los iba acumulando en forma inapropiada, desde que se formó la empresa EPAGAL en

algo se corrigió este inconveniente y en la actualidad forman capas de residuos sólidos y luego los cubren con capas de tierra.

- b)** De acuerdo a la forma geométrica que esta acumulada los residuos será necesario que se realicen perforaciones de pozos para extraer el gas.
- c)** Cada uno de los pozos que se perforarán se unirán por medio de una red de tuberías que transportaran el gas hasta la central eléctrica.
- d)** El gas recuperado no es totalmente puro, a la salida de los pozos en tal sentido como primer control se lo hace pasar por un filtro en donde se atrapa algo de las impurezas que contiene el biogás.
- e)** Debe existir una bomba de aire entre el botadero y la central, para que esta bomba extraiga el gas y lo lleve hasta la central de generación.
- f)** El gas recuperado que llega a la central todavía no está totalmente puro, por lo que es necesario someterlo a un sistema de purificación para lo cual es necesario que pase por un condensador y otros equipos en donde se retirara la humedad, el dióxido de carbono, el sulfuro de hidrogeno y otras sustancias.
- g)** El gas casi puro llega al motor-generador el cual pone en funcionamiento al motor, el mismo que con su movimiento giratorio hace que el generador rote y produzca la energía eléctrica, esta energía es conducida a través de los conductores hasta la subestación en donde mediante un transformador se eleva el voltaje y poder interconectar con la red de distribución de la Empresa Eléctrica.
- h)** Y por último toda la energía que se genera en la central se incorporan a la red de la empresa eléctrica para ser distribuida y consumida por los distintos usuarios de la misma.

También es importante el tratamiento de los líquidos lixiviados, en los rellenos sanitarios desde su diseño esto es considerado en primer plano para evitar la contaminación de los suelos y las aguas subterráneas, por lo tanto para el futuro relleno sanitario en el lugar de la investigación es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Los líquidos lixiviados deben ser drenados a un sistema de almacenamiento mediante tuberías y en algunos casos con bombas.
- b) Desde su almacenamiento deben ser llevados a una planta de tratamiento, en la que se retira una buena parte de sus contaminantes.
- c) Los líquidos debidamente tratados se reciclan al relleno en donde conjuntamente con los residuos sólidos se descompondrán y producirán más biogás.

Una vez establecido el sistema de generación que se utilizara en esta investigación se establecerá costos estimados de cuanto sería la inversión que en este caso el GAD Municipal de Latacunga tendría que invertir para implementar lo indicado en este proyecto y poder aprovechar el biogás que se obtendrá del botadero de basura.

## **5.7 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ESTUDIO**

En este apartado se dará una idea aproximada de cuanto se tendrá que invertir para la implementación de la central de generación eléctrica a biogás en el sitio descrito anteriormente. El principal interés de esto es determinar el monto de recursos económicos necesarios para que se implemente a futuro dicho proyecto.

### **5.7.1 COSTOS DEL PROYECTO**

Para la instauración del proyecto se dan algunos costos, los mismos que su análisis y la determinación de los valores son muy importantes para la toma de decisiones del proyecto.

#### **5.7.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN**

Para la estimación del costo total de la inversión requerida para la implementación del proyecto, es necesario realizar el análisis correspondiente del valor del kW instalado para centrales de generación eléctrica mediante biogás, dichos costos nos darán una idea general de cuál sería el valor inicial y a futuro que habrá que invertir en la central eléctrica.



**Tabla 5. 12 Costos referenciales para la instalación de una central eléctrica a biogás en USD por kW.**

Ubicación	Costo (USD/kW)
México[18]	1170-1500
A nivel Mundial	1700-2000
Colombia[19]	1700-3500
Ecuador (Cuenca)[20]	1188

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

Una vez establecido los costos referenciales del kW instalado para la implementación de centrales de energía eléctrica en un relleno sanitario, el costo aproximado para el presente proyecto se lo determinara de la siguiente manera:

- En el país existen varios proyectos que están impulsando el uso de esta tecnología, como Pichacay, Zambiza, etc., en tal consideración se hará referencia al costo del kW instalado en los estudios realizados para el relleno sanitario de Pichacay, con la potencia que se instalará del presente estudio, se calculara el costo de cuánto costaría la instalación de la central.

La expresión usada es:

$$Inversión Proyecto = kW instalado * Potencia Instalada \quad \text{Ecuación 22}$$

$$Inversión Proyecto = 1188 \text{ USD/kW} * 1400 \text{ kW}$$

$$Inversión Proyecto = 1.663.200,00 \text{ USD}$$

La inversión total del proyecto enmarca todo lo relacionado a la infraestructura civil, instalaciones eléctricas, equipos eléctricos, sistemas de tratamiento del biogás, entre otros elementos necesarios para la instalación de la central.

### 5.7.1.2 COSTOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL

Para la operación y mantenimiento de las instalaciones y equipamiento de la central es necesario realizar inversiones adicionales, por lo que los costos referenciales para este fin se han tomado del estudio de Pichacay, en la tabla 5.13 se puede ver los costos asociados para este fin.

**Tabla 5. 13 Costos para la operación y mantenimiento de la central**

<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Trabajos en el sistema de gas y generación</b>	\$ 10.000	USD/añual
<b>Seguro</b>	\$ 10.000	USD/añual
<b>Sistema de mantenimiento de gas</b>	5%	% añual del costo inicial
<b>Costos de operación de equipo de generación</b>	\$ 0,0173	USD el kW/h exportado
<b>Costos misceláneos</b>	\$ 2	USD por hora operada
<b>Inflación añual<sup>40</sup></b>	3.03%	% de inflación añual

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 5.7.2 INGRESOS

Al lograr poner en funcionamiento la central, se podrá obtener los siguientes ingresos por venta de la energía y por la venta de los bonos de carbono que hoy en día están siendo muy promocionados para tratar de alguna manera mitigar la contaminación y el calentamiento global.

#### 5.7.2.1 COSTOS POR VENTA DE ENERGÍA

En las centrales eléctricas los principales recursos que se logra obtener son los provenientes de la venta de la energía eléctrica que se genera en la misma. Para nuestro país, las tarifas por venta de energía están reguladas por el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), en la regulación No. CONELEC – 004/11, los valores establecidos para la venta de energía proveniente de fuentes renovables como lo es la biomasa y el biogás, para centrales que tenga una potencia instalada <5 MW, el costo está establecido en 11,05 cUSD/kWh y medido en punto de

entrega. Con estos valores se estimara los ingresos que percibirá la central por la venta de la energía media anual para los próximos 20 años de funcionamiento de la planta.

**Tabla 5. 14 Ingresos por venta de energía de la central eléctrica a biogás.**

Potencia instalada [kw]	Años de operación	MWh al año	Ingresos por venta energía (USD)
840	2016	5316,44	587.467,06
840	2017	5316,44	587.467,06
840	2018	5316,44	587.467,06
840	2019	5316,44	587.467,06
840	2020	5316,44	587.467,06
840	2021	5316,44	587.467,06
840	2022	5316,44	587.467,06
840	2023	5316,44	587.467,06
1400	2024	8860,74	979.111,77
1400	2025	8860,74	979.111,77
1400	2026	8860,74	979.111,77
1400	2027	8860,74	979.111,77
1400	2028	8860,74	979.111,77
1400	2029	8860,74	979.111,77
1400	2030	8860,74	979.111,77
<b>Ingresos total</b>			11.553.518,87

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

### 5.7.2.2 VENTA DE BONOS DE CARBONO

En los últimos años varias organizaciones conformadas por varios países están tratando de lograr acuerdos y tratados con el único fin de lograr detener el avance de la destrucción de la capa de ozono y el famoso calentamiento global o cambio climático que se está dando en diferentes sectores alrededor de todo el planeta, en tal sentido y de acuerdo al tratado de Kioto que *fue firmado en el año 1997 por más de 180 países en el marco de las negociaciones en el seno de la ONU, este primer tratado internacional de lucha contra los cambios climáticos entró en vigor en el 2005. Predecía una reducción de las cantidades de gas de efecto invernadero emitidas por los países industrializados de al menos un 5,2% hasta el 2012, en relación a los niveles de 1990. Los países en desarrollo no están*

*obligados, en cambio, a ninguna reducción pero si incitados a favorecer un crecimiento limpio [24].*

Por lo tanto dicho tratado a nivel mundial trata de impulsar el desarrollo de proyectos enmarcados en la recuperación de energías eléctrica, térmica, calor, basando su producción con el uso de energías alternativas o renovables, y de acuerdo a los precios establecidos que han fluctuado desde que se instauró dicho protocolo podemos estimar el ingreso por la venta de bonos de carbono que se lograría obtener con este proyecto.

Los precios de los CERs en el año 2012 se sitúa en \$7,07, valores muy bajos debido a la recesión económica que sufre la Unión Europea desde el año 2009. Actualmente en el primer trimestre del año 2013, el precio de los CERs todavía se mantiene devaluado, llegando como máximo a \$0,43 USD. A pesar de que el precio podría recuperarse, la situación no mejoraría al menos hasta 2020. Según Barclays, *“el precio promedio estimado para los CER en 2012 y 2013 será de cuatro euros, y de siete euros para 2014. Hasta el 2020, esto se acercaría a 10 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> [25].*

### 5.7.2.3 VENTA DE CERTIFICADOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES (CERs)

Determinado los costos que han fluctuado en el mercado y asumiendo el valor establecido de 7 euros que está establecido desde el 2014 hasta el 2020 y de acuerdo a la siguiente fórmula se podrá determinar aproximadamente los ingresos por venta de estos certificados.

$$T_{CO2eq} = EF_{grid} * MWh \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde

$T_{CO2eq}$ : Reducción de emisiones en toneladas equivalentes de dióxido de carbono

$EF_{grid}$ : Factor de emisión de red para el Ecuador es igual a 0,6069 tCO<sub>2</sub>/MWh [26]

$MWh$ : Megavatios hora totales que se exportarán a la red.

Con los datos conocidos y tomando como valor de 1,3614 USD cada euro, tenemos 9,53 USD, calculare los ingresos por venta de certificados de emisiones (CERs), valores que los podemos ver en la siguiente tabla 5.15

**Tabla 5. 15 Ingresos por la venta de los bonos de carbono**

<b>Potencia instalada [kw]</b>	<b>Años de operación</b>	<b>MWh al año</b>	<b>Toneladas anuales de reducción de CO2e</b>	<b>Ingresos por bonos de carbono (USD)</b>
840	2016	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2017	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2018	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2019	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2020	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2021	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2022	5316,44	3226,55	30.749,02
840	2023	5316,44	3226,55	30.749,02
1400	2024	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2025	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2026	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2027	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2028	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2029	8860,74	5377,58	51.248,37
1400	2030	8860,74	5377,58	51.248,37
<b>Ingresos por los Bonos de Carbono</b>				<b>604.730,75</b>

Fuente: Iván Oswaldo Mena Venegas

Como se ha podido observar los cálculos establecen que los ingresos por la venta de energía es de \$11.553.518,87 USD, y por la venta de los certificados de bono de carbono es de \$ 604.730,75 USD, sumando los dos valores tenemos un gran total de \$ 12.158.249,62 USD, en tal circunstancia se ha determinado la cantidad de biogás que se puede capturar del botadero de basura del GAD Municipal de Latacunga y valores aproximados de ingresos que se podría obtener de la producción y venta de energía eléctrica a la red de ELEPCO S.A.

### 5.7.3 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICA

Para realizar el análisis de la rentabilidad económica del proyecto se tomó en consideración que el propósito principal de invertir un capital de dinero tiene como finalidad la de generar beneficios económicos, sociales, ambientales, entre otros aspectos para quienes invertirán en este proyecto.

Para el estudio de este proyecto se tomó en cuenta el valor del dinero en el tiempo como son: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación del capital descontado (PRCD), este periodo permite conocer el tiempo en el cual la inversión se recuperara, el mismo que ayudara para saber si el proyecto es rentable o no.

#### 5.7.3.1 CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO

El cálculo del VAN es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial de acuerdo a la ecuación 24.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \text{Ecuación 24}$$

Dónde:

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el período t,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos.

$i$  = Tasa de descuento.

$n$  = Representa el número de períodos sobre el cual se quiere capitalizar la inversión inicial.

$I_0$  = Inversión inicial en el momento cero.

Consideraciones:

Si  $VAN > 0$  El proyecto es aceptado

Si  $VAN = 0$  El proyecto puede ser aceptado o rechazado es opcional

Si  $VAN < 0$  El proyecto es rechazado

Para la determinación del VAN de la investigación, se consideró una tasa de descuento del 10 %, considerando que es una tasa mucho mayor a la tasa de interés máximo del 8,12 % que indica el Banco Central del Ecuador en estos dos últimos años.

### 5.7.3.2 CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista en este proyecto puede pagar sin que pierda dinero, siempre que el dinero para la inversión estén financiados y el préstamo se pague con el ingreso de la inversión a medida que estos se producen.

La TIR se calcula en base a la ecuación 25.

$$\sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad \text{Ecuación 25}$$

Dónde:

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el período t,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos.

$r$  = Tasa interna de retorno.

$n$  = Representa el número de períodos sobre el cual se quiere capitalizar la inversión inicial.

$I_0$  = Inversión inicial en el momento cero.

Las consideraciones tomadas en cuenta para aceptar o rechazar el proyecto después de haber calculado el VAN son:

Si  $r \geq i$  (tasa de descuento) El proyecto es aceptado

Si  $r < i$  (tasa de descuento) El proyecto es rechazado

### 5.7.3.3 CALCULO DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN DEL CAPITAL DESCONTADO (PRCD)

El cálculo del periodo de recuperación del capital esta expresado en el número de periodos necesarios para recuperar el valor de la inversión inicial  $I_0$ . Donde cada

flujo es descontado con una tasa de interés que representa el costo de oportunidad del inversor, calculo que se lo efectúa de acuerdo a la ecuación 26.

$$PRCD \rightarrow \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} = I_0 \quad \text{Ecuación 26}$$

Dónde:

$BN_t$  = Representa el beneficio neto del flujo en el período t,  $BN_t$  puede tomar valores positivos o negativos.

$i$  = Tasa de descuento.

$n$  = Representa el número de períodos en el cual la sumatoria de flujos netos se iguala a  $I_0$ .

Los criterios para aceptar o rechazar un proyecto están basados al tiempo de recuperación y al tipo de proyecto que se esté investigando, sin embargo se tiene un rango de referencias comunes como los que se indican:

- 1 año (proyecto de gran rentabilidad)
- 3 años (proyecto de rentabilidad media)
- 6 años y más (proyecto de rentabilidad pequeña)

#### 5.7.4 RESULTADOS

Luego de haber determinado los flujos de caja anuales para un periodo de 15 años, el valor del TIR calculado es del 14,67 % lo que establece que la tasa de rentabilidad es mayor a la tasa establecida en el país para una rentabilidad de una inversión en un año, referida a la del banco central que es de 8,12% para el 2014, por lo que esta investigación estaría aceptado al tener una tasa interna de retorno aceptable como tal.

El valor del VAN obtenido es de \$ 1.883.055,71 por lo que el valor calculado indica que el proyecto puede ser aceptado en cuanto a su valor neto.

El valor del PRCD cálculo se puede ver que tiene un periodo de recuperación mayor a los seis años, y cuando este valor del periodo de recuperación supera los seis años está enmarcado dentro del periodo de pequeña rentabilidad, en todo caso la decisión



de aceptar o rechazar este proyecto estará en las manos de los inversionistas o dueños del proyecto, o encaminar dicho proyecto para su financiamiento a través del estado ya que este tipo de proyectos son vistos en la parte política, social y ambiental como proyectos elite. En el Anexo 4 se puede observar la tabla del cálculo de los flujos de caja, VAN, TIR y PRCD para este proyecto.

## **5.8 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

De acuerdo al potencial energético determinado de 2750 Kwh/m<sup>3</sup> que es el máximo que se puede alcanzar durante el tiempo de descomposición y generación de biogás del botadero, se ha establecido la necesidad de instalar una central de generación eléctrica provista de 5 generadores con una potencia de 280 kW para un total de 1400 kW que aprovechara todo el biogás generado por el botadero durante el período de 20 años que se prevé estará en descomposición los residuos orgánicos que se producen en la ciudad de Latacunga y parroquias rurales y que su disposición final es dicho botadero.

## CONCLUSIONES

- La investigación desarrollada nos indica que el proyecto de generación eléctrica en el botadero de basura del GAD Municipal de Latacunga, es viable desde el punto de vista técnico y ambiental, pero tiene su limitación desde el punto de vista financiero por sus altos costos para su implementación.
- Las 103,90 toneladas de basura que ingresa diariamente, a su disposición final en el botadero de basura y a futuro al relleno sanitario proyectado es pequeño comparado con la extensión de terreno que dispone al momento el GAD Municipal de Latacunga y comparado con las 400 toneladas que ingresa al relleno sanitario de Pichacay.
- La proyección de la investigación está determinada para un período de 20 años, para la central eléctrica pero con un debido mantenimiento de la misma se podría extender algunos años más para aprovechar el gas que seguirá generando el botadero, durante este tiempo establecido y de acuerdo a los valores registrados se ha determinado un incremento de un 2% anualmente.
- Los datos obtenidos establece que el potencial energético del botadero es de 2184 Kwh/m<sup>3</sup> para el 2016 desde el inicio de su funcionamiento ira incrementando su potencial hasta un máximo de 2750 Kwh/m<sup>3</sup> para el año 2026 en donde alcanzara su máximo potencial y desde este año iniciará su descenso del potencial.
- Con el 55,2% de residuos orgánicos del total del botadero, que pueden ser aprovechados en la descomposición y generación del biogás y con un potencial energético de 2750 KwH/m<sup>3</sup> recuperado, el mismo será aprovechado para la generación de 1078 Kw en la central de generación propuesta de una potencia total de 1400 KW y el restante 44,8% debería el municipio realizar un buen plan de reciclado para aprovechar estos recursos.
- Del análisis realizado y en base a la propuesta indicada se puede observar que los motores de combustión interna son los más favorables para ser instalados en la central de generación que se proyectare instalar en dicho botadero, equipos que presentan las mejores prestaciones de eficiencia, bajo mantenimiento y baja inversión para su instauración.

- En este momento todos los países del mundo se encuentra ante una revolución, en donde se habla de los problemas que está causando el efecto invernadero, dicho de esta forma en nuestro país se está realizando propuestas, proyectos y movimientos de varios sectores, en tal circunstancia el gobierno debe prestar todo el apoyo necesario a la viabilidad de estos proyectos de investigación y dar el compromiso de apoyo a la comunidad universitaria del país.
  
- Los proyectos de investigación como el desarrollado para su implementación requiere de cantidades considerables de dinero, que una vez instaurados la recuperación del capital invertido y la rentabilidad de la misma estará en función de las tarifas determinadas por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, para los años indicados en el estudio y para las energías producidas por biomasa o biogás.

## RECOMENDACIONES

- Concluida esta investigación, es necesario que se lleve a cabo la investigación relacionados con la ingeniería de detalle y estudio de factibilidad, y así desarrollar el proyecto ejecutivo generando los estudios financieros al detalle correspondientes para poder conseguir el financiamiento local, gubernamental o a través de inversionistas privados.
- El GAD Municipal de Latacunga, posee suficiente espacio para recibir todos los desechos que se produce en la ciudad, hasta el año 2025 pero es necesario que adecue el terreno para convertirlo en un relleno sanitario ya que al momento solo es un botadero de basura controlado.
- Es necesario que el GAD Municipal de Latacunga destine recursos necesarios para que a través de la empresa EPAGAL acondicionen los terrenos que disponen para la disposición final de los RSU, de manera tal que se forme un nuevo y moderno relleno sanitario, que permitirá acomodar y aprovechar de mejor forma los desechos para que se convierta en biogás y aprovechar este gas en la generación de energía eléctrica.
- Al tratarse de un botadero de basura controlado, las adecuaciones que se tiene que realizar para la implantación de tuberías, chimeneas entre otros elementos, encarece los costos de inversión que se requiere para la extracción y utilización del biogás del botadero.
- Se debe indicar al GAD Municipal que a pesar de que tiene controlado el botadero de basura, este control no es al 100%, por lo que en presencia del sol y el agua, el gas metano que se genera al interior de la montaña de basura, dicho gas se eleva a la atmosfera contaminado y ayudando al famoso cambio climático que el planeta está experimentando día a día, ante tal circunstancia es necesario que se adecue chimeneas de quemado para destruir este gas y evitar que llegue a la atmosfera.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ELMER PIZARRO RIMARI, Generación de Energía Eléctrica por Medio de Residuos Sólidos, Editorial Académica Española.
- CARTA GONZÁLES JOSÉ ANTONIO, Centrales de energías renovables, Generación eléctrica con energías renovables, Editorial Pearson Educación S.A., Madrid 2013.
- SARA LARRAÍN, CAROLINE ESTEVENS, M. PAZ AEDO. Las fuentes renovables de energía y el uso eficiente. Edición octubre del 2002.
- Christian Siliezar y Roberto Urquizo, Modelo de Biogás de Ecuador, Manual de Usuario Versión 1.0, Febrero 2009.
- JOSÉ L. ARVIZU F. Y JORGE M. HUACUZ V. Biogás de relleno sanitarios para producción de electricidad. Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003.
- TCHOBANOLOUS, George; et al. Gestión Integral de Residuos Sólidos. McGraw – Hill, Inc. España. 1994
- Turbinas de gas. <http://www.turbinasdegas.com>
- Plan maestro de electrificación 2012 – 2021, MEER.
- JOSÉ MARÍA DE JUANA; Energías Renovables para el Desarrollo. Editorial paraninfo. 2003
- CARLOS SABINO El Proceso De Investigación Ed. Panapo, Caracas, 1992, 216 págs. Publicado también por Ed. Panamericana, Bogotá, y Ed. Lumen, Buenos Aires.
- NATALIA ELIZABETH FONSECA GONZALES, Estado del arte del uso del Gas de Gasificación termoquímica de Biomasa (GG) en motores de combustión interna alternativos, Universidad de los Andes (Bogotá, Colombia), Julio de 2003.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.eluniverso.com/2012/01/08/1/1430/energia-renovable-cubre-129-demanda-mundial.html>
- [2] <http://www.textoscientificos.com/energia/biomasa>.
- [3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>
- [4] <http://www.olivacordobesa.es/BIOMASA.pdf>
- [5] Pignato, T., Aronica S., Bonanno, A., Piazza V., Trapani S. (2008). Estimation of Biogas Produced by the landfill of Palermo, applying a Gaussian Model. Waste Management. Vol 29: 233-239.
- [6] Johannessen, L. M., (1999). Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. Washington, D.C. U.S.A.
- [7] “Plan Maestro de Electrificación 2012-2021”.
- [8] Sector eléctrico ecuatoriano, [www.es.wikipedia.org](http://www.es.wikipedia.org)
- [9] MEER. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, [www.meer.gob.ec](http://www.meer.gob.ec)
- [10] CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad, [www.conelec.gob.ec](http://www.conelec.gob.ec)
- [11] CENACE. Centro Nacional de Control de Energía, [www.cenace.org.ec](http://www.cenace.org.ec)
- [12] CONELEC. BOLETÍN ESTADÍSTICO, “Sector Eléctrico Ecuatoriano 2010”.
- [13] SENPLADES. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, [www.senplades.gob.ec/web/18607/objetivos-pnbv2009-2013](http://www.senplades.gob.ec/web/18607/objetivos-pnbv2009-2013)
- [14] PNBV. “Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir 2009-2013”.
- [15] CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad, “PME Plan Maestro de Electrificación 2012-2021”.
- [16] <http://es.wikipedia.org/wiki/Biomasa>  
<http://www.concienciaeco.com/2012/02/20/que-es-el-co2/>  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_no\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_no_renovable)  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Lixiviado>  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Vertidos>  
<http://www.monografias.com/trabajos15/utilizacion-biogas/utilizacion-biogas.shtml>  
<http://www.vitalis.net/actualidad85-2.htm>

<http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/396/1/Introducci%C3%B3n123.pdf>

- [17] Quadri-de-la-Torre, G.; Wehenpohl, G.; Sánchez-Gómez, J.; López-Villalobos, A.; Nyssen-Ocaranza, A. (2003). *La basura en el limbo: Desempeño de Gobiernos locales y participación privada en el manejo de residuos urbanos*. Pub. GTZ. México D.F. México.
- [18] Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management*, 1993, McGraw-Hill
- [19] Moratorio, D.; Rocco, I. *Proyecto para la conversión de residuos en energía*, Tesis de Grado, Universidad de Montevideo, Diciembre 2011
- [20] Dirección General de Aviación Civil DGAC – Estación Latacunga - Aeropuerto (2000-2011).
- [21] [http://www.sener.gob.mx/res/0/ER\\_para\\_Desarrollo\\_Sustentable\\_Mx\\_2009.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf)
- [22] Johannessen, L. M., (1999). *Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills*. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. Washington, D.C. U.S.A
- [23] Relleno sanitario de Pichacay, capacidad de generación 2MW, costo de inversión 2.377.438 dólares.
- [24] Lécico, BIONERSIS, *Del biogás a la producción de energía*.  
<http://www.bionersis.com>
- [25] *Precio de bonos de carbono baja 80% por crisis europea y sobreoferta de proyectos, la tercera (papel digital)*, Antonio Astudillo M, 26 de marzo 2012.
- [26] *Factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado al año 2012*, Comisión Técnica de Determinación de Factores de Emisión de Gases de Efecto Invernadero, Ministerio del ambiente del Ecuador, CONELEC, CENACE, MEER.

## **ANEXOS**