

# VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS: PROYECTO WTE COLOMBIA



Elaborado para:

Unidad de Planeación Minero Energética  
(UPME)



Elaborado por:



Bogotá, D.C.  
Diciembre de 2018

# VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS: PROYECTO WTE COLOMBIA

## Entregables 1, 2 y 3

Hoja de control

INERCO Consultoría Colombia

	Elaboró	Revisó	Aprobó	Fecha de aprobación:
Versión: 02	Área de Sostenibilidad, INERCO Consultoría Colombia	Jose Alejandro Bernal Director Área de Sostenibilidad	Gabriel Medina Gerente Técnico	14 de diciembre de 2018
		Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

Este documento ha sido preparado por INERCO Consultoría Colombia con un conocimiento razonable y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con la Unidad de Planeación Minero Energética.

INERCO Consultoría Colombia niega alguna responsabilidad con Unidad de Planeación Minero Energética y con terceros al respecto de cualquier materia fuera del alcance anterior. Este informe es confidencial e INERCO Consultoría Colombia no acepta ninguna responsabilidad en absoluto, si otros tienen acceso a parte o la totalidad del informe.

Anotaciones:

---

---

---

---

---



# VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS: PROYECTO WTE COLOMBIA

## Entregables 1, 2 y 3

Hoja de control

Unidad de Planeación Minero Energética

Versión: 02	Elaboró	Revisó	Aprobó	Fecha de aprobación:  14 de diciembre de 2018
		Libardo Murillo	Héctor Hernando Herrera	
	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	Vo. Bo.:	

En la preparación de este documento, INERCO Consultoría Colombia y la Unidad de Planeación Minero Energética utilizaron la información provista por consultores especializados, autoridades nacionales y regionales, así como de otras fuentes no gubernamentales. La Unidad de Planeación Minero Energética realizó la verificación de la información que su conocimiento y experiencia le permitió.

Este informe ha sido preparado por INERCO Consultoría Colombia, con un conocimiento razonable y con el cuidado y la diligencia establecidos en los términos del contrato con la Unidad de Planeación Minero Energética.

Anotaciones:

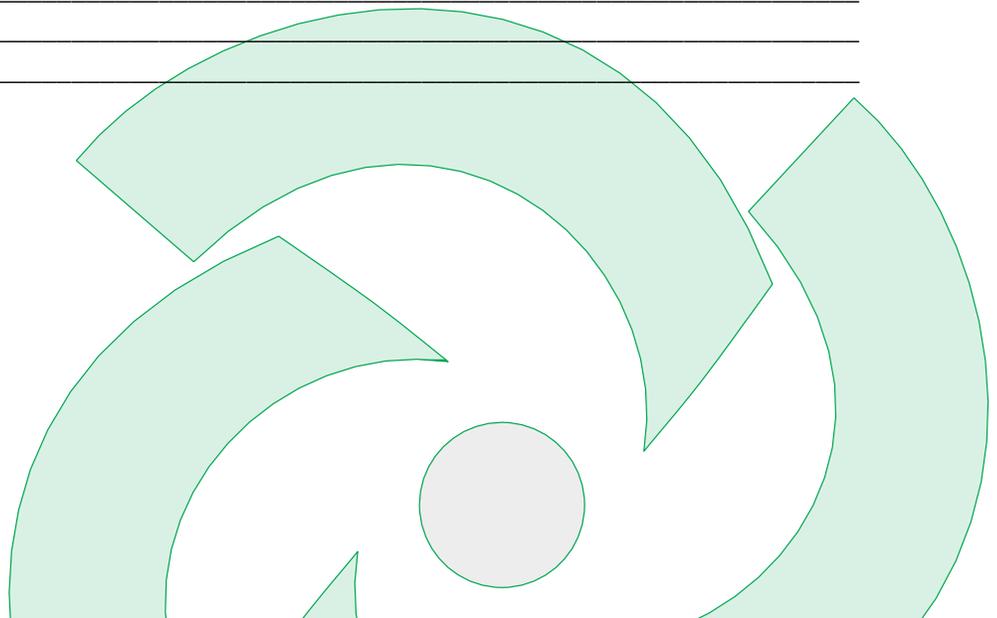
---

---

---

---

---



## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. PROPUESTA DE PRIORIZACIÓN DE SELECCIÓN DE MUNICIPIO PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	2
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
2. CONTEXTO DEL ESTUDIO.....	3
2.1 Residuos sólidos en Colombia.....	3
2.1.1 Manejo actual de los residuos en Colombia.....	3
2.1.2 Residuos sólidos y el cambio climático.....	5
2.2 Tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos.....	6
2.2.1 Criterios para la selección de tecnologías adecuadas.....	6
3. PRIORIZACIÓN DE MUNICIPIO.....	7
3.1 Objetivo de la priorización.....	7
3.2 Criterios de priorización.....	7
3.3 Evaluación y selección de municipio.....	10
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	13
4.1 Conclusiones.....	13
4.2 Recomendaciones.....	14
BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO.....	15
II. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS EN COLOMBIA.....	16
INTRODUCCIÓN.....	16
1. OBJETIVOS.....	18
1.1 Objetivo general.....	18
1.2 Objetivos específicos.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos en Colombia.....	19

2.1.1	Economía circular y política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016).....	19
2.1.2	Gestión integral de los residuos sólidos en Colombia .....	21
2.1.3	Producción de biomasa residual en Colombia .....	29
2.1.4	Potencial energético de la biomasa residual en Colombia .....	30
2.1.5	Residuos y el cambio climático.....	36
2.2	Revisión de tecnologías de valoración energética a partir de residuos sólidos urbanos (WTE) 36	
2.2.1	Tipos de tecnologías de valorización energética de residuos .....	37
2.3	Fichas técnicas de información de tecnologías WTE .....	43
2.3.1	Comparación de las tecnologías WTE .....	44
2.3.2	Incentivos y barreras para la implementación de tecnologías WTE .....	49
2.4	La valorización energética de los residuos en el mundo .....	50
2.4.1	Experiencias nacionales .....	51
2.4.2	Experiencias internacionales .....	54
2.5	Marco regulatorio de la gestión de los residuos en Colombia y el mundo .....	59
2.5.1	Colombia.....	59
2.5.2	Unión Europea .....	70
2.5.3	Estados Unidos .....	73
2.5.4	México .....	74
2.5.5	Argentina .....	76
2.5.6	Perú.....	78
2.5.7	Chile .....	79
2.6	Oportunidades de financiamiento de proyectos de valorización de residuos en Colombia.....	80
2.6.1	Inversión privada.....	80
2.6.2	Inversión pública – privada.....	82
2.6.3	Banca multilateral .....	83
2.6.4	Financiamiento por parte de FINDETER .....	84
2.6.5	Fuentes públicas de financiamiento .....	85
2.6.6	Incentivos tributarios .....	87

2.6.7	Beneficios asociados con la mitigación del cambio climático .....	89
2.6.8	Promoción a la generación distribuida.....	90
3.	PROTOTIPO DEL PROYECTO.....	92
3.1	Selección de tecnología WTE .....	93
3.2	Selección del sitio del proyecto .....	97
3.2.1	Selección del sitio a escala regional .....	97
3.2.2	Selección del sitio a escala local .....	104
3.2.3	Descripción técnica general del sitio seleccionado .....	107
3.3	Definición del tamaño del proyecto WTE .....	138
3.4	Memoria de cálculo planta WTE.....	139
3.4.1	Presentación de las biomasas .....	140
3.4.2	Registro y descargue de las biomasas.....	140
3.4.3	Separación magnética .....	147
3.4.4	Clasificación en banda horizontal .....	148
3.4.5	Trituración de material orgánico .....	149
3.4.6	Cálculo del reactor de biogás.....	150
3.4.7	Potencia disponible y potencia por instalar.....	161
3.4.8	Manejo del digestato .....	163
3.4.9	Controles del proceso.....	164
3.4.10	Área de la planta de aprovechamiento de biogás .....	166
3.5	Análisis económico y financiero .....	167
3.5.1	Metodología.....	167
3.5.2	Resultados económicos.....	169
3.5.3	Indicadores financieros .....	172
3.5.4	Fuentes de recursos y alternativas de financiación .....	174
3.6	Mapa de actores públicos - privados – cooperación .....	175
3.6.1	Identificación de actores públicos.....	176
3.6.2	Identificación de actores, organizaciones sociales, comunales, comunitarias y no gubernamentales .....	187
3.6.3	Identificación actores económicos y productivos .....	192
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	195

BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO .....	197
ANEXOS.....	215

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1</b> Estadísticas de aprovechamiento de residuos sólidos en Colombia 2016 .....	3
<b>Tabla 2</b> Inventario general de tecnologías de disposición final de residuos .....	5
<b>Tabla 3</b> Descripción de parámetros y criterios de evaluación para la selección del municipio ...	8
<b>Tabla 4</b> Sitios de disposición y tratamiento .....	11
<b>Tabla 5</b> Clasificación y puntaje de los sitios de disposición final .....	11
<b>Tabla 6</b> Ranking de los sitios por cantidad de residuos (t/año) .....	12
<b>Tabla 7</b> Caracterización de residuos por departamento .....	24
<b>Tabla 8</b> caracterización porcentual de residuos en Colombia y los porcentajes de máximos y mínimos caracterizados .....	25
<b>Tabla 9</b> Comparación de tecnologías WTE .....	46
<b>Tabla 10</b> Incentivos para la implementación de tecnologías WTE .....	49
<b>Tabla 11</b> Barreras para la implementación de tecnología WTE .....	50
<b>Tabla 12</b> Poder calórico inferior (PCI) de las biomásas .....	94
<b>Tabla 13</b> Tipo de tecnología más apropiada para los diversos tipos de biomasa .....	95
<b>Tabla 14</b> Municipios en zona de influencia del relleno sanitario Loma Grande .....	97
<b>Tabla 15</b> Áreas candidatas .....	104
<b>Tabla 16</b> Áreas de las Unidades de Manejo .....	109
<b>Tabla 17</b> Distribución del área del municipio de Montería .....	110
<b>Tabla 18</b> Áreas de significancia ambiental .....	111
<b>Tabla 19</b> Susceptibilidad de amenazas .....	113
<b>Tabla 20</b> Identificación de escenarios de riesgo .....	113
<b>Tabla 21</b> Caracterización de los residuos sólidos en Montería .....	116
<b>Tabla 22</b> Asociaciones de recicladores .....	117
<b>Tabla 23</b> Resultados huella de carbono - Municipio de Montería 2009 .....	118
<b>Tabla 24</b> Municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario de Loma Grande .....	120
<b>Tabla 25</b> Toneladas tratadas en el relleno sanitario Loma Grande .....	120

<b>Tabla 26</b>	caracterización de los residuos dispuestos en el relleno Loma grande .....	121
<b>Tabla 27</b>	Tipos de biomásas en Colombia disponibles para valoración energética.....	122
<b>Tabla 28</b>	Oferta de biomásas en el área de estudio .....	123
<b>Tabla 29</b>	Cálculo del tamaño del proyecto en Montería.....	139
<b>Tabla 30</b>	cálculos de la bahía de descargue de RSOU .....	142
<b>Tabla 31</b>	Cálculos de la bahía de descarga de las demás biomásas .....	143
<b>Tabla 32</b>	cálculos del foso de descargue RSOU.....	144
<b>Tabla 33</b>	Cálculos del foso de descargue otras biomásas .....	145
<b>Tabla 34</b>	Trituradora de biomásas diferentes a RSOU.....	145
<b>Tabla 35</b>	Cálculos de la rompedora de bolsas.....	146
<b>Tabla 36</b>	Cálculos del separador magnético.....	147
<b>Tabla 37</b>	cálculos de la banda de clasificación manual .....	148
<b>Tabla 38</b>	Cálculos trituradora de material orgánico.....	149
<b>Tabla 39</b>	Potencial de producción de biogás de las biomásas .....	151
<b>Tabla 40</b>	Cálculo de la producción de biogás en la planta WTE .....	152
<b>Tabla 41</b>	Cálculos del tanque de homogenización .....	154
<b>Tabla 42</b>	Cálculos del digestor de biogás.....	157
<b>Tabla 43</b>	Calidad típica de biogás de algunas biomásas .....	159
<b>Tabla 44</b>	Potencial energético de los residuos sólidos urbanos .....	162
<b>Tabla 45</b>	Cálculos de generación eléctrica y potencia de los equipos.....	162
<b>Tabla 46</b>	Tipos de equipos de generación de energía a partir del biogás.....	163
<b>Tabla 47</b>	Cálculo de la producción del biodigestato.....	164
<b>Tabla 48</b>	Cálculo de áreas - Planta de biogás .....	166
<b>Tabla 49</b>	Resumen de costos de inversión y operación alternativas proyecto Montería – millones de pesos de 2018 .....	171
<b>Tabla 50</b>	Indicadores financieros de las tres alternativas (*) .....	173
<b>Tabla 51</b>	Votación Concejo Municipal .....	187
<b>Tabla 52</b>	Corregimientos del municipio de Montería - Córdoba .....	188
<b>Tabla 53</b>	Escenarios de riesgo presentados en el municipio de Montería .....	191
<b>Tabla 54</b>	Actores económicos .....	193

Tabla 55 Plantas de beneficio de ganado.....	193
Tabla 56 Empresas prestadoras de servicios públicos .....	194

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Metodología para la selección del municipio del proyecto.....	8
Figura 2 Jerarquía de la gestión de los residuos.....	20
Figura 3 Potencial de la biomasa en Colombia.....	32
Figura 4 Fuentes de biomasa residual.....	33
Figura 5 Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa.....	38
Figura 6 Descripción del proceso de degradación anaerobia de la biomasa .....	41
Figura 7 Cadena de valoración de biogás y biometano .....	42
Figura 8 Esquema institucional del mercado eléctrico .....	64
Figura 9 <i>Waste to Energy</i> en Europa – 2015 .....	71
Figura 10 Planta de valorización energética en Latinoamérica .....	75
Figura 11 Ciclo de proyectos MDL .....	90
Figura 12 Proceso de generación de biogás y energía eléctrica .....	93
Figura 13 Localización lotes planta WTE – influencia relleno sanitario Loma Grande .....	99
Figura 14 Localización del relleno sanitario Loma Grande del municipio de Montería .....	100
Figura 15 Ubicación del relleno sanitario Loma Grande .....	101
Figura 16 Localización de áreas priorizadas para la planta WTE.....	102
Figura 17 Áreas candidatas priorizadas.....	103
Figura 18 Uso del suelo alrededor de las lagunas de oxidación nororientales .....	105
Figura 19 Uso del suelo alrededor de las lagunas de oxidación surorientales .....	106
Figura 20 Posible ubicación del proyecto WTE para Montería.....	106
Figura 21 Localización de la ciudad de Montería en el departamento de Córdoba .....	108
Figura 22 Prueba para determinar el potencial metanogénico de una biomasa .....	152
Figura 23 Tanque típico de almacenamiento de biogás .....	158

<b>Figura 24</b> Tipos de tratamiento de acuerdo con el uso final del biogás.....	160
<b>Figura 25</b> Metodología modelo de evaluación financiera.....	168
<b>Figura 26</b> Escenario de rentabilidad (TIR) con financiamiento de la inversión inicial a través de recursos públicos o no reembolsables.....	174
<b>Figura 27</b> Actores públicos - privados - cooperación.....	175
<b>Figura 28</b> Conformación del SGR.....	180
<b>Figura 29</b> Organigrama de la Gobernación de Córdoba.....	183
<b>Figura 30</b> Organigrama Alcaldía de Montería.....	186
<b>Figura 31</b> Estructura organizacional institucional.....	187

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>Gráfico 1</b> Tipo de técnicas de gestión de residuos en Colombia.....	22
<b>Gráfico 2</b> Generación mensual nacional promedio de residuos sólidos.....	23
<b>Gráfico 3</b> Caracterización nacional de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario a nivel nacional.....	25
<b>Gráfico 4</b> Número de ECA a nivel departamental.....	27
<b>Gráfico 5</b> Propietarios de las estaciones de clasificación y aprovechamiento.....	27
<b>Gráfico 6</b> Caracterización del material reciclado.....	28
<b>Gráfico 7</b> Cantidad de disposición de residuos en rellenos sanitarios.....	29
<b>Gráfico 8</b> Potencial energético de la biomasa residual en Colombia.....	34
<b>Gráfico 9</b> Potencial de la biomasa agrícola.....	35
<b>Gráfico 10</b> Resultados huella de carbono - Municipio de Montería.....	119
<b>Gráfico 11</b> Generación de residuos - municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande.....	125
<b>Gráfico 12</b> Generación de residuos vegetal, animal y RSOU.....	126
<b>Gráfico 13</b> Generación de residuos vegetal, animal de los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande.....	127
<b>Gráfico 14</b> Potencial energético de residuos vegetal y animal.....	128

<b>Gráfico 15</b> Potencial energético de residuos vegetal, animal de los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande.....	129
<b>Gráfico 16</b> Cantidad de generación de residuos vegetales.....	130
<b>Gráfico 17</b> Potencial energético de los residuos vegetales.....	131
<b>Gráfico 18</b> generación de residuos vegetales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande .....	132
<b>Gráfico 19</b> Potencial energético de los residuos vegetales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande.....	133
<b>Gráfico 20</b> Generación de residuos de origen animal .....	134
<b>Gráfico 21</b> Potencial energético de residuos de origen animal.....	135
<b>Gráfico 22</b> Cantidad de residuos de origen animal en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande .....	136
<b>Gráfico 23</b> Potencial energético de los residuos animales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande.....	137
<b>Gráfico 24</b> Cantidad de RSOU en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande .....	138
<b>Gráfico 25</b> Ingresos anuales alternativas del proyecto de Montería – Millones de pesos de 2018 .....	170
<b>Gráfico 26</b> Flujo de caja libre escenarios proyecto Montería – millones de pesos de 2018 ..	172
<b>Gráfico 27</b> Organizaciones sociales del municipio de Montería.....	190

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
<b>Fotografía 1</b> Presentación de las biomásas esperadas en la planta WTE .....	141
<b>Fotografía 2</b> Báscula de pesaje .....	141
<b>Fotografía 3</b> Descargue de residuos en foso .....	142
<b>Fotografía 4</b> Rompedora típica de bolsas .....	146
<b>Fotografía 5</b> Separador magnético típico de residuos .....	147
<b>Fotografía 6</b> Banda típica de clasificación de residuos .....	148
<b>Fotografía 7</b> Trituradora típica de material orgánico.....	149

<b>Fotografía 8</b> Tanque típico de hidrolización en una planta de biogás .....	154
<b>Fotografía 9</b> Tanque típico de digestión en una planta de biogás.....	155
<b>Fotografía 10</b> Motor reciprocante típico de producción de energía a partir de biogás .....	165

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Fichas técnicas de información de tecnologías WTE .xls	
<b>Anexo 2</b> Modelo Técnico-económico y financiero de la planta de biogás .xls	
<b>Anexo 3</b> BD Priorización de proyectos .xls	

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra ( <i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use</i> )
ANEEL	Agencia Nacional de Energía Eléctrica
ANLA	Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
APP	Asociaciones público privadas
ASCUN	Asociación Colombiana de Universidades
ASIC	Administrador del sistema de intercambios comerciales
Asocomunal	Asociaciones de Acciones Comunes
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial
CAA	Ley de aire limpio ( <i>Clean Air Act</i> )
CER	Certificado de reducción de emisiones ( <i>Certified Emission Reduction</i> )
CEWEP	Confederación Europea de Plantas WTE ( <i>Confederation of European Waste-to-Energy Plants</i> )
CFB	Lecho fluidizado circulante ( <i>Circulating Fluidised Bed</i> )
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
CORALINA	Corporación para el Desarrollo Sostenible de San Andrés, Providencia y Santa Catalina
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
CVS	Corporación Autónoma Regional de los Valles Sinú y San Jorge
DF	Disposición final
DIAN	Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DOE	Entidad Operativa Designada ( <i>Designated operational entity</i> )
ECA	Estación de clasificación y aprovechamiento
EnRes	Programa de aprovechamiento energético de residuos urbanos
EPA	Agencia de Protección Ambiental ( <i>Environmental Protection Agency</i> )
ESAG	Encuesta de Sacrificio de Ganado
ESMAP	Programa de asistencia para la gestión del sector de la energía ( <i>Energy Sector Management Assistance Program</i> )
FAE	Fondo de Ahorro y Estabilización
FAER	Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas rurales interconectadas
FAZNI	Fondo de apoyo financiero para la energización de las zonas no interconectadas
FCL	Flujo de caja libre
FCR	Fondo de Compensación Regional
FCTI	Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación

FDR	Fondo de Desarrollo Regional
FEDEPALMA	Federación Nacional de Productores de Aceite de Palma
FENOGE	Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía
FINDETER	Financiera de Desarrollo Territorial S. A.
FCL	Flujo de Caja Libre
FNCE	Fuente No Convencional de Energía
FN CER	Fuente No Convencional de Energía Renovable
FOES	Fondo de energía social
Fonpet	Fondo de Ahorro Pensional Territorial
GEI	Gases de efecto invernadero
GD	Generación distribuida
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IFC	Corporación Financiera Internacional ( <i>International Finance Corporation</i> )
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas
JAC	Juntas de acción Comunal
JAL	Juntas Administradoras Locales
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MDL	Mecanismo Desarrollo Limpio
MME	Ministerio de Minas y Energía
MVCT	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
NHSM	Materiales secundarios no peligrosos ( <i>Non-Hazardous Secondary Material</i> )
OCAD	Órganos Colegiados de Administración y Decisión OCAD
PAP-PDA	Programa Agua y Saneamiento para la Prosperidad Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento
PARS	Plan de Acción de Mitigación para Residuos Sólidos y Agua y Saneamiento
PAS	Plan Acción Sectorial
PDA	Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento
PGIRS	Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PIB	Producto Interno Bruto
PMCC	Plan Maestro de Cambio Climático
POT	Plan de Ordenamiento Territorial
PRONE	Programa de normalización de redes eléctricas
PROURE	Programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energías no convencionales
PURPA	Políticas reguladoras de servicios públicos ( <i>Public Utilities Regulatory Policy Act</i> )
QF	Instalaciones calificadas ( <i>Qualifying Facility</i> )
RAS	Reglamento técnico del sector agua potable y saneamiento
RAEE	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos

RCD	Residuos orgánicos biodegradables
RCRA	Ley de conservación y recuperación de recursos ( <i>Resource Conservation and Recovery Act</i> )
REGU	Residuos especiales de generación universal
RME	Residuos de manejo especial
RSDJ	Relleno sanitario Doña Juana
RSE	Responsabilidad social empresarial
RSM	Residuos sólidos municipales
RSO	Residuos sólidos orgánicos
RSU	Residuos sólidos urbanos
SDL	Sistema de Distribución Local
SECO	Secretaría de Cooperación Económica Suiza
SIAC	Sistema de información ambiental de Colombia
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SINA	Sistema Nacional Ambiental
SMSCE	Sistema de Monitoreo, Seguimiento, Control y Evaluación
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
STR	Sistema de Transmisión Regional
SUI	Sistema único de información de servicios públicos
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
TIR	Tasa Interna de Retorno
UE	Unión Europea
UEF	Unidades espaciales de funcionamiento
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
URE	Uso Racional y Eficiente de Energía
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SUI	Sistema Único de Información
SSPD	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios
VPN	Valor presente neto
VUCE	Ventanilla Única de Comercio Exterior
WTE	Generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos

## I. PROPUESTA DE PRIORIZACIÓN DE SELECCIÓN DE MUNICIPIO PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA Y GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS

### INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio que se desarrolla para la UPME, cuyo objeto es «desarrollar un modelo que permita establecer la viabilidad técnica, ambiental, financiera y económica de proyectos replicables en diferentes sectores, municipios, regiones, con diversos tipos de residuos, que permita: a) generar energía a partir de residuos sólidos urbanos (WTE) y, b) generar biogás », se presenta una propuesta en la que se plantea una priorización de un sitio que aglomere una serie de municipios, o región, en la que se pueda llevar a cabo un proyecto de valorización de residuos con fines energéticos (WTE).

Este documento constituye el ENTREGABLE Nro. 1 que corresponde a la priorización del municipio escogido para llevar a cabo el proyecto piloto de aprovechamiento energético a nivel de viabilidad y, para tal efecto, se contemplaron, además de los municipios recomendados por la UPME y del MVCT, los sitios actuales que acopian la mayor cantidad de residuos sólidos en el componente del servicio público de aseo en disposición final en Colombia. Esta selección, igualmente, toma como base la información que se reporta por los operadores en el (SUI) de la SSPD; dicho de otra forma, se identificaron criterios de exclusión y de factibilidad que permiten priorizar la toma de dicha decisión, para identificar cuáles podrían ser los mejores sitios para la implementación del proyecto. Así, dentro del informe se entrega una tipificación de los sitios, que abarcan más de un municipio, con una sencilla calificación que le permitirá a la UPME establecer no solo uno, sino por lo menos diecinueve sitios propicios para la implementación de la tecnología WTE.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

Presentar una propuesta de priorización del municipio escogido para llevar a cabo el proyecto a nivel de viabilidad para la generación de energía y generación de biogás a partir de biomasa residual. Este ejercicio partirá de la lista de municipios ya priorizados por el MVCT, la UPME, el DNP y/o el MADS, entre otros estudios relacionados con gestión integral de residuos.

### 1.2 Objetivos específicos

Para cumplir con el objetivo general metodológicamente se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Establecer el contexto general o estado del arte sobre el aprovechamiento energético en Colombia.
- Diseñar y desarrollar la metodología para la selección del municipio donde se puede desarrollar el proyecto piloto.

## 2. CONTEXTO DEL ESTUDIO

### 2.1 Residuos sólidos en Colombia

#### 2.1.1 Manejo actual de los residuos en Colombia

En este numeral se describe los componentes de aprovechamiento y disposición actual, con el fin de determinar las tecnologías que se están empleando. Este aspecto es relevante, ya que la política de gestión integral y cambio climático apuntan a la necesidad de un mejoramiento e incluso desarrollo tecnológico en la gestión de los residuos, la cual implica un cambio a partir del estado del arte actual en nuestro medio.

##### 2.1.1.1 Aprovechamiento de los residuos sólidos

De acuerdo con el Decreto 1713 de 2002, el aprovechamiento en el marco del servicio de aseo es el conjunto de actividades dirigidas a efectuar la recolección, transporte y separación, cuando a ello haya lugar, de residuos sólidos que serán sometidos a procesos de reutilización, reciclaje o incineración con fines de generación de energía, compostaje, lombricultura o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos en el marco de la Gestión Integral de los Residuos. Por definición, el aprovechamiento también busca recuperar la energía contenida en los residuos, lo cual permite ver los residuos sólidos como un recurso y no como un desecho.

En este numeral se describe el estado del arte en Colombia en temas de aprovechamiento, según el Informe Anual de Aprovechamiento de 2016 emitido por la SSPD (tabla 1). De la información reportada en el SUI, se observa que los servicios públicos domiciliarios aportan con un 1,8% para 2016 del material inorgánico aprovechable.

**Tabla 1** Estadísticas de aprovechamiento de residuos sólidos en Colombia 2016

<b>Estaciones de clasificación y aprovechamiento registradas</b>			
<b>Departamento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Departamento</b>	<b>Cantidad</b>
Córdoba	1	Guajira	2
Bolívar	1	Boyacá	2
Huila	1	Magdalena	3
Tolima	1	Valle de Cauca	4
Cauca	1	Cundinamarca	6
Risaralda	1	Santander	10
Atlántico	1	Antioquia	35
Caldas	1	Bogotá D. C.	178
Cesar	2		
Suma:		250	
<b>Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento Registradas</b>			

Municipio	Cantidad	Municipio	Cantidad
Bogotá	178	Piedecuesta	1
Medellín	11	Cartago	1
Rionegro	4	Pereira	1
Soacha	4	Girón	1
Bucaramanga	4	Palmira	1
Marinilla	4	Floridablanca	1
El Santuario	3	Neiva	1
Santa Marta	3	Duitama	1
Itagüí	3	Mosquera	1
Barrancabermeja	3	Cartagena	1
La Ceja	3	Montería	1
Valledupar	2	Caicedonia	1
Riohacha	2	Zipaquirá	1
El Carmen del Viboral	2	Ibagué	1
Envigado	2	Barranquilla	1
Santa Rosa de Osos	1	Manizales	1
Tunja	1	Apartadó	1
Popayán	1	La Estrella	1
Cali	1		
Suma:		250	
<b>Cantidad de residuos aprovechados en Colombia</b>			
Departamento	Cantidad	Departamento	Cantidad
Bogotá	78.616	Córdoba	1.521
Antioquia	10.617	Atlántico	1.168
Santander	3.469	Resto País	2.514
Suma:		97.905	
<b>Cantidad de residuos aprovechados en Colombia</b>			
Residuo	Cantidad	Residuo	Cantidad
Papel y Cartón	55.733	Vidrio	6.771
Metales	26.447	Madera	923
Plásticos	7.815	Textil	216
Suma:		97.905	

Fuente: SSPD<sup>1</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 2.1.1.2 Disposición final de residuos sólidos

En este numeral, se resumen las tecnologías de disposición final de residuos empleadas en Colombia, a partir de la información registrada por la SSPD. En la tabla 2 se presenta el resumen de la disposición final en Colombia, en ella se observa que las tecnologías de disposición van orientadas a la incorporación del residuo en el suelo y no al reúso del potencial energético del

<sup>1</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). Informe Nacional de aprovechamiento [En línea]. Ed. Nro. 1 (2016). Bogotá D.C.: diciembre, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe\\_nacionaldeaprovechamiento2016\\_dic1920161.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe_nacionaldeaprovechamiento2016_dic1920161.pdf)>

mismo. Dentro de ellas, la principal tecnología es la de relleno sanitario, que corresponde a la de más uso con un el 97 % de participación.

**Tabla 2** Inventario general de tecnologías de disposición final de residuos

Nro.	Sistema	Residuos dispuestos		Número de sistemas		Número de municipios	
		t/año	%	Número	%	Número	%
1	Sin información	1.021	0,01	2	0,72		0,00
2	Quema	1.320	0,01	1	0,36		0,00
3	Enterramiento	15.274	0,14	7	2,53	7	0,69
4	Cuerpo de agua		0,00		0,00		0,00
5	Planta de tratamiento	18.589	0,16	7	2,53	9	0,88
6	Celda de contingencia	109.419	0,97	13	4,69	15	1,47
7	Botadero a cielo abierto	103.884	0,92	54	19,49	54	5,30
8	Celda transitoria	146.829	1,30	35	12,64	43	4,22
9	Relleno sanitario	10.904.459	96,5	158	57,04	891	87,44
	<b>Suma</b>	11.300.795	t/año	277	100	1.019	100
		30.961	t/día				

Fuente: SSPD<sup>2</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 2.1.2 Residuos sólidos y el cambio climático

En 2010, la producción diaria de residuos sólidos municipales en Colombia fue de aproximadamente 20.000 t/día, lo que equivale a 8,06 Mt CO<sub>2</sub>e. Durante ese año, a nivel nacional las emisiones totales de GEI fueron de casi 223,95 Mt CO<sub>2</sub>e; luego, el impacto de la actividad de disposición final en la generación de GEI fue de 3,6 % aproximadamente. De acuerdo con estos resultados, el PAS para el sector de saneamiento básico/residuos sólidos ha incluido las siguientes estrategias para la reducción de las emisiones GEI en Colombia:

- Reducir las emisiones provenientes de residuos sólidos en rellenos sanitarios.
- Reducir la cantidad de residuos dispuestos en rellenos sanitarios e implementar tecnologías de aprovechamiento eficientes y con cero emisiones.
- Aprovechamiento energético de los residuos sólidos. Sistemas de monitoreo, reporte y verificación.

La Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos se actualizó a través del CONPES 3874 de 2016, con el ánimo de aportar a la transición de un modelo lineal hacia una economía circular, a través de la gestión integral de residuos sólidos, y en espera de la optimización de los

<sup>2</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe final de residuos sólidos 2016 [en línea]. Ed. Nro. 9 (2017). Bogotá D.C.: diciembre de 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe\\_nacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe_nacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf)>

recursos para que los productos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y se aproveche al máximo su materia prima, así como su potencial energético. Para esto, la política se basó principalmente en cuatro ejes estratégicos enfocados en prevenir la generación de residuos; minimizar aquellos que van a sitios de disposición final; promover la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y, así mismo, evitar la generación de gases de efecto invernadero.

## **2.2 Tecnologías de aprovechamiento energético de los residuos**

De acuerdo con el alcance del estudio, la consultoría debe desarrollar un modelo que permita establecer la viabilidad técnica, ambiental, financiera y económica por medio de la generación de energía y de biogás a partir de los residuos sólidos urbanos para su posible aplicación en proyectos replicables en diferentes sectores, municipios, regiones con diversos tipos de residuos, todo de conformidad con lo señalado en el estudio previo y en la propuesta, documentos que forman parte integral de este contrato.

### **2.2.1 Criterios para la selección de tecnologías adecuadas**

Los siguientes criterios fueron utilizados en la identificación y selección de tecnologías adecuadas que podrían ser empleadas para el tratamiento en Bogotá:

- Tecnologías probadas, bien establecidas y maduras;
- potencial de recuperación de recursos (como la energía o combustibles);
- consideración de costo (Capex y Opex) e ingresos (venta de electricidad y subproductos); requerimientos de espacio;
- impacto ambiental y social;
- manejo de los residuos postratamiento; composición de los residuos, y
- tecnologías complementarias a la actividad de reciclaje.

### 3. PRIORIZACIÓN DE MUNICIPIO

De conformidad con los términos de referencia para el estudio, la consultoría incluye el diseño conceptual de la planta de biogás, según la ubicación definida en el diagnóstico. De esta forma, se necesita realizar un análisis de priorización, a nivel de viabilidad, para seleccionar el municipio donde se pueda desarrollar un proyecto piloto.

#### 3.1 Objetivo de la priorización

Realizar el análisis de municipios en Colombia, para seleccionar el municipio más adecuado para desarrollar un proyecto piloto viable de aprovechamiento a partir de residuos que permita: a) la generación de energía (WTE) y/o, b) la generación de biogás.

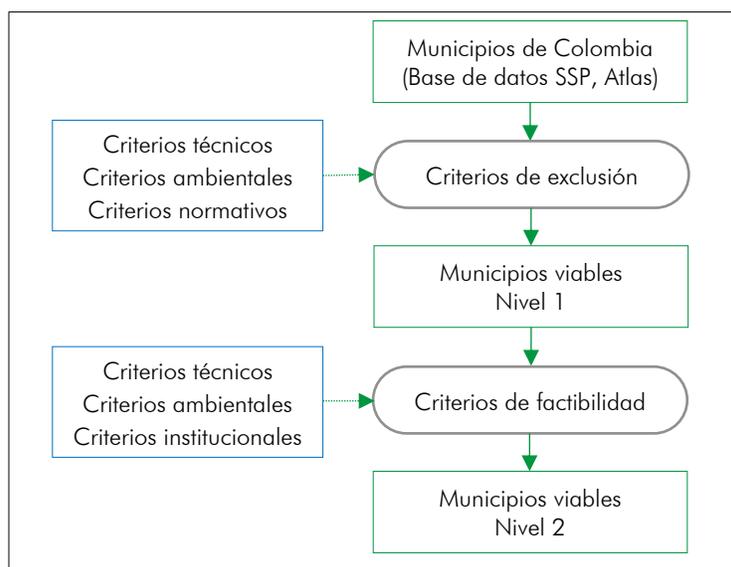
#### 3.2 Criterios de priorización

Para la selección del municipio se ha definido un conjunto de criterios o parámetros de evaluación que permita su evaluación, para determinar el municipio más adecuado para la implementación del proyecto piloto.

Para la evaluación se han definido dos tipos de criterios:

- Criterios de exclusión: que corresponden a una condición o limitación existente el municipio que impida el desarrollo del proyecto y/o su viabilidad, o que el municipio cuente con un riesgo no subsanable a corto plazo.
- Criterios de factibilidad: que corresponden a condiciones del municipio que pueden ser evaluables con respecto a una condición ideal.

En la figura 1 se presenta la metodología aplicada, que corresponde a una toma de decisión multicriterio, en la cual se establecieron criterios de exclusión y de factibilidad para priorizar el municipio seleccionado. Dicha metodología se nutrió a partir del inventario de todos los municipios en Colombia obtenido de las bases de datos de la SSPD para 2016, así como de las características obtenidas partir de DANE, en atlas climático y atlas de biomasa en Colombia.

**Figura 1** Metodología para la selección del municipio del proyecto

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

A partir de la base de datos de todos los municipios, se aplicó el primer filtro con los criterios de exclusión para obtener la primera base de municipios Nivel 1, es decir, que no presentan ningún limitante normativo y técnico que inviabilice el proyecto. Posteriormente, se aplicó el segundo filtro correspondiente a los criterios de factibilidad, con la finalidad de obtener una calificación de los municipios priorizada. Los municipios Nivel 2 corresponden a los municipios más recomendados para la implementación del proyecto. Estos fueron colocados en orden de recomendación según en los resultados de las evaluaciones obtenidos por cada uno.

En la tabla 3 se describen los parámetros aplicados para cada uno de los criterios empleados. En los criterios de factibilidad, se dio una calificación de 2 al parámetro cuando este se consideraba más conveniente para el proyecto piloto de aprovechamiento energético y un valor de 1 cuando el valor del parámetro resultaba menos favorable.

**Tabla 3** Descripción de parámetros y criterios de evaluación para la selección del municipio

Nro.	Parámetro	Criterio	Calificación	Descripción
1	Criterios de exclusión			
1,1	Producción de residuos	Menor a 100.000 t/año	0,0	Parámetro establecido por el Plan de Acción Sectorial (PAS) de residuos para la viabilidad de proyectos de aprovechamiento de biogás y energía en rellenos sanitarios.
1,2	Conectividad municipal	Zonas no interconectadas	0,0	Municipios o proyectos que no cuentan con vías de acceso.
1,3	Vida útil	5 años	0,0	Proyectos que no tienen garantizada una permanencia en el sitio actual y que no permitirían incorporar un proyecto piloto a corto plazo.

Nro.	Parámetro	Criterio	Calificación	Descripción
1,4	Proximidad a aeropuerto	Menor a 13 km, que actualmente esté siendo objetado por la Aeronáutica Civil	0,0	Proyectos que por normativa sobre la proximidad a aeropuertos requieren ser reubicados y donde la Aeronáutica no ha dado una autorización para que pueda continuar su operación o ha colocado alguna objeción. Se excluyen El Carrasco y La Glorita.
2	Criterios de factibilidad			
2,1	Vida útil	5 a 10 Años	1	Es recomendable que el sitio donde se ubica el proyecto cuente con una mejor vida útil para garantizar la sostenibilidad del proyecto piloto a largo plazo.
		Mayor a 10 años	2	
2,2	Altura m s. n. m.	Mayor o igual a 1.000	1	Proyectos ubicados a menos de 1.000 m s. n. m. son más favorables para la producción de biogás a partir de biomásas.
		Menor a 1.000	2	
2,3	Precipitación pluvial mm/año	Menor a 800	1	Municipios con mayor precipitación pluvial son más favorables, ya que en estos municipios la humedad esperada de los residuos sería mayor lo que favorece procesos biológicos para el tratamiento de las biomásas.
		Mayor o igual a 800	2	
2,4	Presencia de ECA en la región	Menor o igual 4	1	Se prefiere la existencia de plantas de clasificación y aprovechamiento de materiales reciclables en la zona, ya que el proyecto piloto generaría este tipo de materiales en su etapa de pretratamiento, que requieren ser enviados a una ECA.
		Mayor o igual a 5	2	
2,5	Propiedad del terreno	Empresa privada	1	Se prefiere a que el propietario del terreno sea público, ya que esto permitiría tener menos restricciones en cuando a las fuentes de financiación del proyecto.
		Municipio	2	
2,6	Existencia proyecto Biogás	No	1	Para el proyecto piloto se prefieren aquellos sitios que cuenten con una planta de aprovechamiento de biogás, ya que esto mejora la viabilidad del proyecto.
		Si	2	
2,7	Licencia ambiental o plan de manejo ambiental	No tiene	1	Se prefiere la ubicación del proyecto en aquellos sitios que cuenten con una licencia ambiental o plan de manejo ambiental, ya que esto da garantía de sostenibilidad a largo plazo con respecto a proyectos no licenciados.
		Si tiene	2	
2,8	Producción de residuos	Menor a 150.000 t/año	1	Se priorizarán los municipios por cantidad de residuos, tomando en cuenta que es más favorable para el proyecto aquellos municipios que cuenten con mayor biomasa disponible.
		Mayor o igual a 150.000 t/año	2	
2,9	Potencial energético	Menor a 12000 TJ/año	1	Se prefiere ubicar el proyecto en zonas donde la oferta energética a partir de biomásas es mayor, a partir de residuos orgánicos de residuos, agrícolas y lodos de PTAR.
		Mayor o igual a 12000 TJ/año	2	
2,10	Ciudad energética	No	1	Se prefiere ubicar el proyecto en aquellos sitios donde son considerados innovadores en

Nro.	Parámetro	Criterio	Calificación	Descripción
		Si	2	prácticas sustentables, y mejoramiento de la gestión de residuos en todos los niveles de su plan integral.

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.3 Evaluación y selección de municipio

A partir de la información registrada por los operadores de aseo del país en el SIU de la SSPD, los informes de disposición final de residuos en Colombia facilitados por el MVCT y datos del *Atlas de potencial energético de biomasa en Colombia*, se construyó una base de datos que incluye el registro de 1.102 municipios:

El registro abarca información de:

- Departamento,
- sistema DF (desde relleno sanitario, planta, hasta botadero a cielo abierto), nombre del operador,
- nombre del sitio de disposición, vida útil,
- cantidad de residuos registradas por el operador, altura sobre el nivel del mar,
- precipitación lluvias anuales,
- número de estaciones de clasificación y aprovechamiento, y propietario del terreno, público o privado, y
- potencial energético de biomasa.

Sobre la selección del sitio, y los criterios de exclusión con un grupo de municipios atendidos para una disposición final superior a 100.000 t/año, se identificaron 458 municipios en 22 departamentos, los cuales acuden a 23 sitios de disposición final. Para ello, se descartaron sitios de disposición final como el botadero a cielo abierto, en cuerpos de agua y celdas de contingencia o transitorias. Además, se excluyeron los sitios de disposición final de Bucaramanga (El Carrasco) y de Pereira (La Glorita), por su actual cercanía a los aeropuertos de Palonegro y Matecaña, respectivamente. Esto representa peligro aviario para los aviones, al estar en cercanías sitios de disposición final, y por estar dentro del perímetro de restricción establecido por la Aeronáutica Civil. En consecuencia, con los parámetros de restricción aplicados entre ellos, se identificaron 19 sitios de disposición final que contarían con las condiciones iniciales para la implementación del proyecto:

**Tabla 4** Sitios de disposición y tratamiento

I	Nombre sitio	Depto. Ubicación	Municipio
1	Centro industrial de residuos sólidos de Urabá	Antioquia	Turbo
2	El Clavo	Atlántico	Palmar de Varela
3	El Oasis	Sucre	Sincelejo
4	Guayabal	Norte de Santander	Cúcuta
6	Los Corazones	Cesar	Valledupar
7	Parque ambiental Andalucía	Quindío	Montenegro
8	Parque ambiental La Pradera	Antioquia	Donmatías
9	Parque ambiental Loma de los Cocos	Bolívar	Turbana
1	Parque ambiental Los Pocitos	Atlántico	Galapa
1	Parque ambiental Palangana	Magdalena	Santa Marta
1	Parque ecológico Praderas del Magdalena	Cundinamarca	Girardot
1	Parque industrial La Miel	Tolima	Ibagué
1	Relleno sanitario Antanas	Nariño	Pasto
1	Relleno sanitario Doña Juana	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.
1	Relleno sanitario Loma Grande	Córdoba	Montería
1	Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo	Cundinamarca	Bojacá
2	Relleno sanitario parque ecológico Reciclante	Meta	Villavicencio
2	Relleno sanitario regional Colomba-El Guabal	Valle del Cauca	Yotoco
2	Relleno sanitario regional Presidente	Valle del Cauca	San Pedro

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

El resultado de esta clasificación se obtuvo a partir de criterios de factibilidad, como la vida útil de relleno, la altura del sitio en m s. n. m., precipitación pluvial (mm/año), presencia de ECA en el sector, propiedad del terreno (municipio o de empresa externa), existencia de proyectos de biogás, licencia ambiental o plan de manejo ambiental, generación de cantidad de residuos, potencial energético y ciudades enmarcadas como «ciudades energéticas» sostenibles.

Por lo tanto, en la tabla 5 se presenta los puntajes de mayor relevancia según la evaluación realizada por los criterios expuestos anteriormente. El resultado de la calificación indica que los sitios con mejores condiciones son 12, calificados como 17 y 16 puntos, como se muestra a continuación:

**Tabla 5** Clasificación y puntaje de los sitios de disposición final

ID	Nombre sitio	Depto. Ubicación	Mpio. Ubicación	Resultado
21	Relleno sanitario regional Colomba-El Guabal	Valle del Cauca	Yotoco	17
17	Relleno sanitario Loma Grande	Córdoba	Montería	17
8	Parque ambiental La Pradera	Antioquia	Donmatías	17
14	Relleno sanitario Atenas	Nariño	Pasto	16
1	Centro industrial de residuos sólidos de Urabá	Antioquia	Turbo	16
22	Relleno sanitario regional Presidente	Valle del Cauca	San Pedro	16
20	Relleno sanitario parque ecológico Reciclante	Meta	Villavicencio	16
10	Parque ambiental Los Pocitos	Atlántico	Galapa	16
15	Relleno sanitario Doña Juana	Bogotá D.C.	Bogotá D.C.	16
9	Parque ambiental Loma de los Cocos	Bolívar	Turbana	16
12	Parque ecológico Praderas del Magdalena	Cundinamarca	Girardot	16

ID	Nombre sitio	Depto. Ubicación	Mpio. Ubicación	Resultado
19	Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo	Cundinamarca	Bojacá	16

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

La clasificación de los seleccionados es el siguiente:

**Tabla 6** Ranking de los sitios por cantidad de residuos (t/año)

ID	Nombre sitio	Depto. Ubicación	Mpio. Ubicación	Clasificación
21	Relleno sanitario regional Colomba-El Guabla	Valle del Cauca	Yotoco	1
17	Relleno sanitario Loma Grande	Córdoba	Montería	1
8	Parque ambiental La Pradera	Antioquia	Donmatías	1

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 6, se puede observar un resumen del nombre del sitio, el departamento al que corresponde, el municipio de ubicación, y la clasificación. Esta categorización se determinó por los criterios nombrados con anterioridad. La descripción general de cada sitio identificado, calificado y clasificado es así:

1. Relleno sanitario Colomba el Guabal: ubicado en el municipio de Yotoco, en el norte del Valle del Cauca. Atiende los municipios de los departamentos de Cauca y Valle del Cauca, entre los que está Yumbo, Yotoco, Villa Rica, Santander de Quilichao, Restrepo, Padilla, Miranda, La Cumbre, Jamundí, Guachené, Florida, Dagua, Candelaria, Caloto, Calima, Cali, con un registro de cantidades dispuesta de 862.193 t/año de residuos y potencial energético de 37.243,76 TJ/año.
2. Relleno sanitario Loma Grande: ubicado en el municipio de Montería. Atiende los municipios de Canalete, Ciénaga de Oro, Los Córdoba, Montería, Moñitos, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Puerto Escondido, San Bernardo del Viento, San Carlos, San Pelayo, Tierralta, Valencia, Ayapel, Buenavista, Cereté, La Apartada, Montelíbano y Puerto Libertad, con 195.896 t/año de residuos y 11.325,13 TJ/año de potencial energético. Este municipio forma parte de las ciudades catalogadas como «ciudades energéticas», por sus innovadoras prácticas sustentables, y el mejoramiento de la gestión de residuos en todos los niveles. Asimismo, con su Plan Maestro de Cambio climático, en el cual busca reducir sus emisiones en un 20 % para 2019.
3. El parque ambiental la Pradera: ubicado en el municipio de Donmatías en Antioquia. Atiende los municipios de Yolombó, Urrao, Sopetrán, Santo Domingo, Santa Rosa De Osos, Santa Fe de Antioquia, San Pedro de los Milagros, San Jerónimo, Sabaneta, Rionegro, Retiro, Medellín, Guarne, Guadalupe, Gómez Plata, Girardota, Copacabana, Cisneros, Bello y Barbosa, con

un registro de 1.052.604,75 t/año de residuos dispuestas y 8.326,49 TJ/año de potencial energético.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La localización de los posibles sitios para la implementación del proyecto tiene gran correlación con los sitios de disposición final, dado que estos concentran una gran cantidad de residuos provenientes de una región específica, lo que facilita el análisis con la información que los operadores de dichos sitios de disposición final aportan al SUI de la SSPD.
- Se logró la identificación de 19 sitios de disposición final, de los cuales se priorizaron 3 de ellos: Parque Ambiental la Pradera (Donmatías, Antioquia), Relleno Loma Grande (Montería, Córdoba) y Relleno sanitario regional Colomba-El Guabal (Yotoco, Valle del Cauca).
- Todos los sitios identificados tienen una cantidad de residuos sólidos dispuestos de más de 100.000 t/año.
- Los sitios seleccionados tienen unas características climáticas de temperatura y precipitación adecuadas que permiten una mejor producción de biogás de los residuos biodegradables, todos ellos ubicados en clima cálido y con precipitaciones por encima de los 700 mm/año.
- Si bien Montería es una ciudad intermedia en el plano nacional, es reconocida por su interés y participación en proyectos de gestión energética, y por generar acciones de mitigación en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub>. No obstante, los 18 sitios de disposición final, que no fueron escogidos para el proyecto piloto de aprovechamiento energético de la biomasa residual, también pueden ser considerados potenciales para implementar la propuesta, dado que cuentan con una alta capacidad de aprovechamiento de residuos y potencial energético.
- Uno de los componentes de mayor interés se centra en la formación de los proyectos futuros centrados en la planificación de la ciudad energética y su proyección a otros municipios del país. Para tal efecto, Montería es seleccionado como municipio de priorización para la implementación del proyecto piloto de diseño conceptual de aprovechamiento energético a partir de la biomasa residual, debido a que cuenta con programa de implementación para combatir los efectos del cambio climático e implementar energías renovables. En otros, términos, esta iniciativa se orienta a generar planes y acciones de una gestión eficiente y sostenible en el manejo técnico, económico y social, lo que, sin duda, contribuye a que esta ciudad se posicione dentro de las ciudades energéticas de Colombia.

## 4.2 Recomendaciones

- Los lugares como Barrancabermeja no se contemplaron dentro de las opciones, debido a la falta de claridad en el estado de la licencia ambiental del sitio de disposición, y porque la cantidad de residuos es inferior a las 100.000 t/año. Sin embargo, podrá revisarse la particularidad de la disponibilidad de predios con la Alcaldía Municipal.
- Pasto, a pesar que no superó a Montería en el puntaje establecido (según la SECO y la UPME), es considerado como un ecosistema muy favorable para implementar proyectos de energía renovable y eficiencia energética. Además, es un municipio que busca implementar en el POT el proyecto de ciudades energéticas como política pública para garantizar su aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios. Reportes técnicos operativos [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-07-26]. Disponible en Internet: <<http://www.sui.gov.co/web/aseo/reportes/tecnico-operativos>>

\_\_\_\_\_. Informe Nacional de Aprovechamiento. Informe Nacional 2016 [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-07-26]. Disponible en Internet: <<https://www.superservicios.gov.co/noticias/informe-nacional-aprovechamiento-2016>>

\_\_\_\_\_. Informe final de residuos sólidos. Informe Nacional 2016 [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-07-26]. Disponible en Internet: <<https://www.superservicios.gov.co/noticias/disposicion-final-residuos-solidos-informe-nacional-2016>>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Informe de redición de cuentas 2016-2017 [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-07-26]. Disponible en Internet: <[http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe\\_gestion\\_2017.pdf](http://www1.upme.gov.co/InformesGestion/Informe_gestion_2017.pdf)>

\_\_\_\_\_. Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022: Una realidad y oportunidad para Colombia [en línea]. Bogotá D.C., 2016 [citado en 2018-07-26]. Disponible en Internet: <[http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf)>

## II. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS EN COLOMBIA

### INTRODUCCIÓN

En Colombia, más de 30.000 t de residuos sólidos son depositadas diariamente en rellenos sanitarios, cantidad que sigue en aumento, dado el continuo crecimiento de la población y de las actividades industriales que se desarrollan en el país. A pesar de esto, solo hace pocos años han emergido incentivos económicos, normativos y regulatorios para minimizar la generación de estos residuos o para aumentar los niveles de aprovechamiento de los mismos.

La insuficiencia de incentivos lleva a recurrir a los rellenos sanitarios como único proceso de gestión de residuos, lo que, a su vez, acarrea a la saturación de su capacidad instalada; dicho de otra manera, estos no tendrán el espacio para disponer de la oferta diaria de residuos sólidos actuales y futuros. No obstante, aunque la operación de un relleno sanitario puede generar problemas ambientales tales como lixiviados, emisión de GEI, así como problemas de índole social asociados con los vectores de enfermedades y la calidad de vida, se está perdiendo una oportunidad de aprovechamiento de estos residuos como insumo de las cadenas productivas. Por ejemplo, se estima que el 61,5 % de los residuos generados y dispuestos en rellenos sanitarios corresponde a residuos orgánicos<sup>3</sup>, los cuales pueden ser reincorporados a la economía, con el fin de generar no solo un beneficio económico, sino también contribuir con un desarrollo sostenible. Y, como efecto, se podrá reducir la presión sobre el ambiente por medio del reciclaje o a la diversificación de la matriz energética de las fuentes renovables y aprovechar la energía que estos poseen para la generación de combustibles, electricidad o calor<sup>4</sup>.

El Gobierno nacional reconociendo el cambio en la percepción de los residuos en el mundo ha construido mecanismos que permiten impulsar una gestión de los residuos sólidos más allá del modelo lineal. Dentro este marco, surge el concepto de economía circular en la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos como política de interés social, económico, ambiental y sanitario. Por esto, las tecnologías WTE y de biogás se presentan como una oportunidad para desarrollar la valorización energética de los residuos en Colombia dentro de un modelo de economía circular.

En línea con lo anterior, este documento presenta un marco teórico que refleja el contexto de la gestión de los residuos sólidos en Colombia, seguido de una revisión de tecnologías de valoración energética aplicadas en otros países, así como unas fichas técnicas basadas en la

---

<sup>3</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). Informe Nacional de aprovechamiento. [En línea]. Ed. No 1. Bogotá: 2016. p.13. Disponible en internet: <<http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>>

<sup>4</sup> COLOMBIA. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (CONPES). CONPES 3874 [En línea]. Bogotá: 2016. Disponible en internet: <<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>>

información consultada y la información recolectada en un taller con distintos actores de empresas prestadoras de servicios WTE. Además, muestra las barreras y limitaciones, el marco regulatorio de gestión y las oportunidades de financiamiento en Colombia y en el mundo para la implementación de este tipo de tecnologías.

Posteriormente, el informe abarca el prototipo de proyecto y el diseño conceptual de una planta de degradación anaeróbica, en los cuales se establece la validación de criterios técnicos, ambientales, económicos y financieros. Además, contiene un mapa de actores y la información técnica general y de sustrato del sitio seleccionado por la UPME (Montería). El diseño conceptual de la planta de valorización de residuos en Montería incluye un modelo técnico, económico y financiero para tres escenarios de proyecto, con el objetivo de determinar los niveles de rentabilidad del proyecto y la estructura óptima de financiamiento.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 Objetivo general

Generar un documento de con el prototipo de un proyecto de valorización energética de residuos para el municipio seleccionado con la UPME (Montería), el cual contendrá el diseño conceptual de una planta de degradación anaeróbica y sus análisis costo-beneficio, el mapa de actores; el análisis de validación de los criterios técnicos, financieros, económicos y socioambientales, entre otros, para la generación de energía (WTE) a partir de RSU, y la producción de biogás a partir de biomásas residuales disponibles.

### 1.2 Objetivos específicos

- Establecer el diagnóstico general sobre la gestión, la producción y el potencial energético de los residuos sólidos en Colombia.
- Revisar las diferentes tecnologías aplicadas en otros países para la valorización energética de residuos y su posible aplicación en Colombia.
- Realizar un prototipo de proyecto de valorización energética de residuos para el municipio de Montería (seleccionado por la UPME), mediante la validación de los criterios técnicos, ambientales, económicos y financieros. El prototipo de proyecto incluye el diseño conceptual de una planta de degradación anaerobia para la generación de energía eléctrica y biogás, y su respectivo análisis costo-beneficio.
- Caracterizar el municipio y el sitio de selección en términos técnicos, ambientales y de sustrato.
- Identificar y plasmar en un mapa los actores públicos, privados y de cooperación del prototipo del proyecto.
- Desarrollar y presentar documentos soporte de los talleres de las tecnologías de valorización energética.

## 2. MARCO TEÓRICO

El siguiente apartado se presenta con el propósito de comprender el contexto nacional e internacional en el cual se encuentra inmersa la gestión de residuos y su potencial valorización energética dentro del marco de la economía circular y el desarrollo sostenible. En línea con este objetivo, presenta un diagnóstico de la gestión de los residuos Colombia, una revisión de las principales tecnologías de valorización energética de residuos y las experiencias obtenidas mediante su implementación a nivel nacional e internacional.

Posteriormente, se muestra el marco regulatorio aplicable a la gestión de los residuos en Colombia y otros países para identificar las oportunidades y barreras en la implementación de proyectos de valorización energética de residuos. Para finalizar, se realiza un recuento de las oportunidades de financiamiento de este tipo de tecnologías y proyectos en Colombia.

### 2.1 Diagnóstico de la gestión de los residuos en Colombia

#### 2.1.1 Economía circular y política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016)

En la actualidad, existen pocos incentivos económicos para aumentar los niveles de aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos, así como pocas estrategias para su prevención y minimización. Como resultado, la gran mayoría de los residuos sólidos generados terminan su ciclo de vida en los rellenos sanitarios, siguiendo un modelo de economía lineal. En consecuencia, surge la necesidad de crear una transición de la economía lineal hacia la circular, la cual favorece un modelo de desarrollo sostenible a través de la reutilización de los residuos, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten reincorporarlos a una cadena productiva para aumentar su vida útil y disminuir su generación. En otras palabras, el modelo tiene como fin que los materiales no se conviertan en un bien final, sino que se reincorporen a un servicio o a un aprovechamiento<sup>5</sup>.

Tal cambio en el modelo económico, aunque ha sido lento en el mundo, y Colombia no ha sido indiferente. En el país se han empezado a implementar aproximaciones de economía circular en distintos aspectos de la sociedad, tal es el caso de la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos (Conpes 3874 de 2016). Esta herramienta busca promover el avance gradual hacia esta economía, a través del diseño de instrumentos en el marco de la gestión integral de residuos sólidos asociados con la prevención, la reutilización y el reciclaje de material aprovechable.

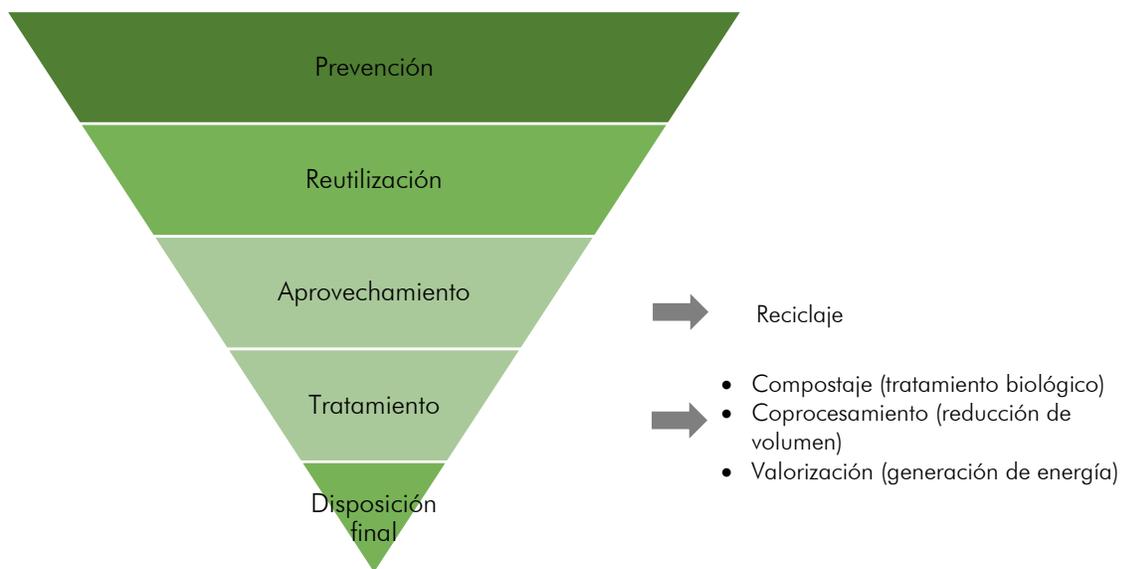
---

<sup>5</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). Informe Nacional de aprovechamiento. *Óp. cit.*

Adicionalmente, estos instrumentos también han adoptado una jerarquía en la gestión de los residuos, en donde se da prioridad a los tres procesos mencionados anteriormente y se establece como último recurso la disposición final de residuos sin aprovechamiento o reutilización. Así, se pretende que los residuos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y sea aprovechados al máximo antes de realizar su disposición final.

Desde esta perspectiva, en la figura 2, se presenta la jerarquía conducente a reducir y gestionar los residuos. Como primera medida se establece la prevención en la generación de residuos como propósito primordial de una política que busca avanzar hacia la economía circular y, posteriormente, se encuentra la medida que consiste en reducir los residuos sólidos, por ejemplo, a través de la reutilización. Luego, se da paso al aprovechamiento, entendido como reciclaje, y las acciones de tratamiento de residuos no aprovechables para: (i) la reincorporación de los materiales a procesos productivos (p. ej., el compostaje o la digestión anaeróbica); (ii) la valorización a través de generación de energía antes de ser dispuestos, o (iii) la reducción del volumen o tamaño antes de su disposición final. Por último, se localiza la medida en términos de prioridad es la disposición final, ya sea en rellenos sanitarios o mediante incineración sin valorización energética<sup>6</sup>; así, esta medida sería el último recurso para los residuos sólidos que no se han podido evitar, desviar o recuperar en los pasos anteriores.

**Figura 2** Jerarquía de la gestión de los residuos



**Fuente:** CONPES 3874 de 2016<sup>7</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>6</sup> COLOMBIA. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. CONPES 3874 (21, noviembre, 2016). Por el cual se crea política nacional para la gestión integral de residuos sólidos [en línea]. Bogotá D.C.: DNP, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>>

<sup>7</sup> *Ibíd.*

Esta política se convirtió en el principal orientador de acciones ambientales en materia de residuos sólidos, ya que plantea estrategias relevantes como: (i) desarrollo de los programas de minimización en el origen, articulados con los programas de producción más limpia de los cuales forma parte; (ii) modificación de los patrones de consumo y producción insostenibles; (iii) creación de nuevos canales de comercialización de materiales aprovechables y promoción de los existentes, y (iv) fortalecimiento de cadenas de reciclaje, programas existentes y apoyo a nuevos programas de aprovechamiento de residuos, entre otras estrategias.

En diciembre de 2015, Colombia participó en la vigésima primera reunión de la Conferencia de las Partes (COP 21) de la CMNUCC. En este encuentro, el país se comprometió a reducir sus emisiones de GEI en un 20 % con respecto a las emisiones proyectadas para 2030, a través del diseño e implementación de medidas sectoriales de mitigación y prácticas inclusivas y sostenibles en procesos transversales a toda la economía. Estas acciones buscan reducir las emisiones, maximizar la carbono-eficiencia de la actividad económica del país, y contribuir al desarrollo social y económico nacional. Adicionalmente, estas medidas de mitigación apuntan al manejo integral de los residuos, la recuperación de sistemas degradados, la eficiencia energética y la optimización del uso de recursos energéticos.

En este sentido, Colombia, como parte de su meta de un desarrollo bajo en carbono y reconociendo el cambio de perspectiva asociada con la economía circular, busca generar sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos que apuntan a un incremento en la separación en la fuente y de la tasa de aprovechamiento a 2030, así como a una reducción de los GEI generados en los procesos de disposición final de residuos. La meta de aprovechamiento propuesta es que 30 % de los residuos generados sea utilizado por personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento (25 % por organizaciones de recicladores formalizadas).

### 2.1.2 Gestión integral de los residuos sólidos en Colombia

En la Nación existen varios sistemas de disposición final para los residuos sólidos, los cuales se encuentran clasificados como sistemas inadecuados y adecuados de disposición final. Los primeros hacen referencia a: celdas transitorias, enterramientos, botaderos a cielo abierto, quemas y vertimientos a cuerpos de agua; mientras, en los segundos se encuentran celdas de contingencia, plantas de tratamiento y rellenos sanitarios, estos últimos los más usados en el país, según el Informe Nacional de Disposición de Residuos Sólidos de la SSPD para 2016<sup>8</sup>.

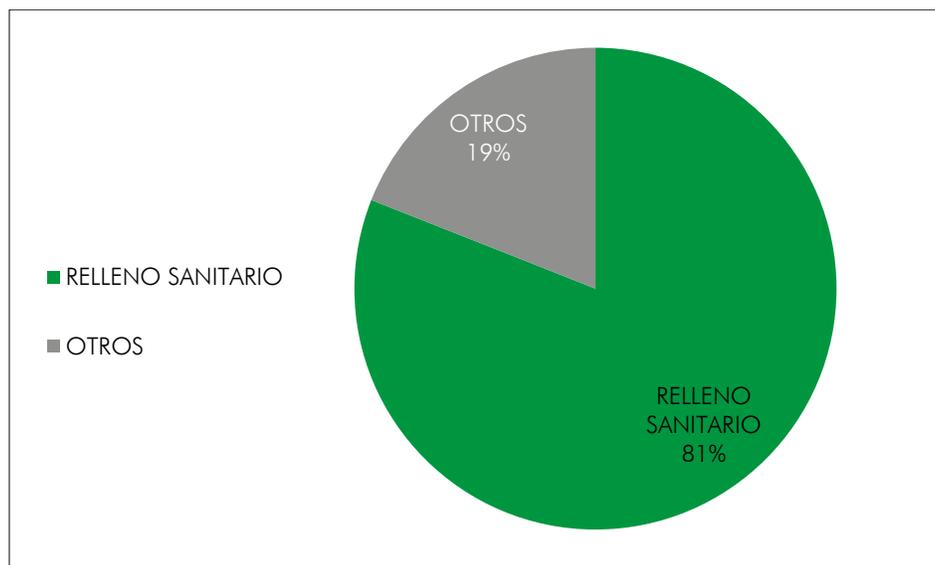
---

<sup>8</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe final de residuos sólidos 2016 [en línea]. Ed. Nro. 9 (2017). Bogotá D.C.: diciembre de 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe\\_nacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informe_nacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf)>

Los rellenos sanitarios son sistemas de disposición final de residuos sólidos que aparecen como una tendencia para resolver la gestión integral de RSU, diseñados y operados como una obra de saneamiento básico, cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, su diseño y en su óptima operación y control. Con un dominio de la participación en la disposición del 96,5 %, el cual se traduce en 10.904.459 t de residuos al año, este sistema se aplica en 891 municipios de los 1.019 municipios atendidos; mientras, el segundo lugar en participación lo ocupa la celda transitoria con tan solo 1,3 %.

Según los resultados de la base de datos de generación de residuos sólidos de la SSPD para 2016, el 81 % de los municipios de Colombia cuenta con rellenos sanitarios como su tratamiento de gestión integral y el 19 % utiliza otros métodos menos tecnificados como son los botaderos a cielo abierto, las celdas transitorias, etc.<sup>9</sup> (gráfico 1):

**Gráfico 1** Tipo de técnicas de gestión de residuos en Colombia



**Fuente:** SSPD<sup>10</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Actualmente, existen diferentes tipos de aprovechamiento de residuos sólidos enfocados a residuos orgánicos e inorgánicos. Dentro de los primeros, se tienen procesos de tratamiento y aprovechamiento como compostaje, lombricultivos, entre otros, que generan productos aprovechables como el compost y biofertilizante. El segundo tipo de residuos es susceptible al reciclaje de materiales, donde prevalecen el plástico, metal, papel y cartón. El reciclaje permite utilizar una parte de los residuos sólidos como materia prima para otras actividades, y es considerada como una práctica de tratamiento eficaz para reducir la presión sobre los recursos

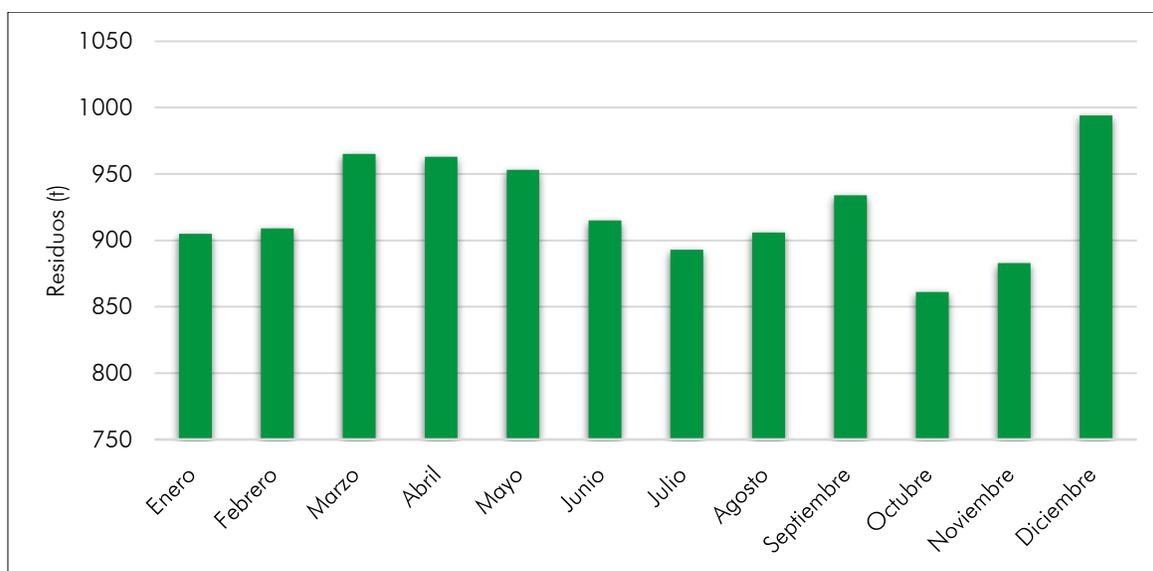
<sup>9</sup> *Ibíd.*

<sup>10</sup> *Ibíd.*

naturales. Sin embargo, la inexistencia de políticas reglamentarias que obliguen a una selección y separación de los residuos desde la fuente reducen el material potencialmente aprovechable, lo que dificulta el desarrollo de esquemas de negocio especializados para la recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos.

A partir de la información recolectada por la SSPD en 2016, es posible conocer la generación de residuos sólidos por parte de diversos municipios en los 32 departamentos del territorio colombiano y en Bogotá. Adicionalmente, se evidencia la caracterización de los residuos generados por departamento y para la capital del país para este mismo año. Al analizar dicha información, es posible determinar dos picos de producción de residuos sólidos en Colombia. El primero es constante y se asocia a marzo y abril, en los cuales la producción de residuos permanece casi constante y, el segundo pico, a diciembre. Con excepción de octubre y noviembre, podría decirse que la disposición de residuos sólidos en el país corresponde a un régimen bimodal tal como se observa en el gráfico 2.

**Gráfico 2** Generación mensual nacional promedio de residuos sólidos



**Fuente:** SSPD<sup>11</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

A partir de la caracterización de los residuos sólidos por departamento de la tabla 7, es posible determinar la caracterización general para Colombia, así como los porcentajes de valores mínimos y máximos de acuerdo con los tipos de residuos generados en el territorio. A partir de la base suministrada por la SSPD, se llevó a cabo una nueva clasificación de los residuos caracterizados, en ella se agruparon a criterio: los residuos provenientes de comida, poda y otros

<sup>11</sup> Datos calculados según la base de datos de la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) para el año 2016.

orgánicos (1); papel y cartón (2); madera (3); caucho, piel, huesos y paja (4); textiles (5); metales (6); construcción y demolición (7); vidrio y cerámica (8); plástico (9), y pañales, papel higiénico y otros inorgánicos (10). Estos resultados se presentan en la tabla 8, en la que los números representan la participación porcentual de los residuos, en la cual se observa que en promedio el 61 % de los residuos corresponde a la fracción orgánica biodegradable, lo que muestra un potencial importante para el aprovechamiento con base en tecnologías biológicas que permitan generar biogás y/o gas metano.

**Tabla 7** Caracterización de residuos por departamento

Tipo de residuos/ Departamento	Caracterización de los residuos (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amazonas	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Antioquia	59,1	8,6	3,2	0,2	2,6	1,3	0	3,1	14,8	7,1
Arauca	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
San Andrés y Providencia	57,1	11,8	3,0	1,5	2,6	1,1	0	9,3	9,2	4,4
Atlántico	51,4	10,9	1,9	0	3,9	1,4	10,0	3,0	8,7	8,8
Bogotá	62,7	8,2	1,9	0,5	4,0	0,8	0	1,0	18,7	2,3
Bolívar	64,4	10,3	3,2	1,1	1,4	3,5	3,8	2,0	10,3	0
Boyacá	48,4	14,2	2,8	0,2	1,0	2,3	2,3	8,7	8,6	11,4
Caldas	52,9	15,4	4,0	0,8	4,7	1,4	0	3,2	16,1	1,5
Caquetá	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Casanare	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
Cauca	64,6	8,5	0,7	0,7	5,8	0,6	10,1	0,9	7,0	1,0
Cesar	57,9	14,6	3,0	0	0	1,4	0	7,9	15,2	0
Chocó	65,2	7,4	0,7	1,0	3,8	0	0	0	0	21,8
Córdoba	70,9	3,1	1,0	1,0	2,2	0	0,6	1,0	11,2	8,9
Cundinamarca	61,1	8,6	3,2	0,3	3,7	0,8	0	1,0	17,8	3,5
Guainía	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Guaviare	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Huila	76,6	1,5	4,0	0,4	0,8	0,4	0,0	0,5	3,6	12,2
La Guajira	63,7	10,0	2,2	1,0	0,9	1,6	2,2	5,6	11,1	1,8
Magdalena	69,6	5,4	1,4	1,9	1,8	1,7	4,4	3,2	7,1	3,5
Meta	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0
Nariño	65,2	7,4	0,7	1,0	3,8	0	0	0	0	21,8
Norte de Santander	54,9	15,9	2,0	2,2	2,8	0,7	0	6,7	4,7	10,1
Putumayo	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Quindío	48,7	4,4	4,1	2,7	9,7	1,2	0,4	4,2	13,7	11,0
Risaralda	59,8	7,5	1,6	1,5	4,2	0,8	0,5	1,5	19,0	3,7
Santander	51,0	5,7	6,4	3,1	7,0	1,0	4,9	1,1	11,9	7,9
Sucre	70,9	3,1	1,0	1,0	2,2	0	0,6	1,0	11,2	8,9
Tolima	68,2	9,4	2,8	0,5	1,2	2,7	0,1	4,5	9,2	1,3
Valle del Cauca	65,9	6,4	0,6	1,3	1,9	0,0	0,0	0	0	24,0
Vaupés	77,5	3,6	0,6	1,1	1,7	1,5	0	3,3	10,4	0,4
Vichada	60,4	7,2	1,4	1,2	2,5	1,0	3,0	2,0	10,4	11,0

Fuente: SSPD<sup>12</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

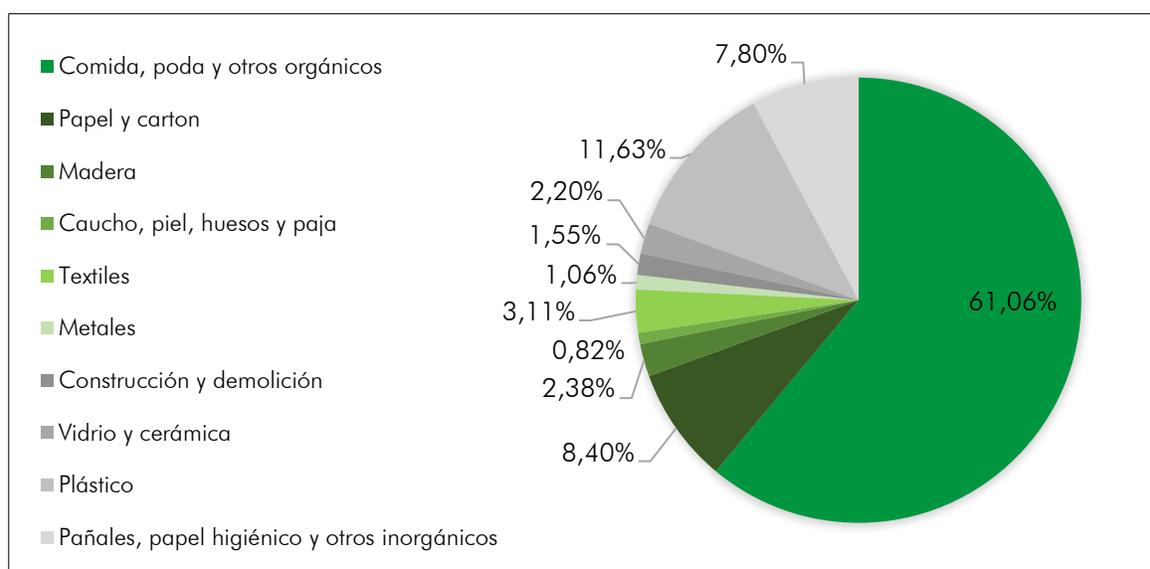
<sup>12</sup> *Ibid*

**Tabla 8** caracterización porcentual de residuos en Colombia y los porcentajes de máximos y mínimos caracterizados

	Tipo de residuos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Colombia	61,1	8,4	2,4	0,8	3,1	1,1	1,5	2,2	11,6	7,8
Valor Mín.	48,4	1,5	0,6	0	0	0,0	0	0	0	0
Valor Máx.	77,5	15,9	6,4	3,1	9,7	3,5	10,1	9,3	19,0	24,0

Fuente: SSPD<sup>13</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Asimismo, en el gráfico 3 se presentan los resultados de la caracterización en el país, con el fin de identificar la participación de los distintos tipos de residuos en los rellenos sanitarios. Al cuantificar los residuos procedentes de fuentes orgánicas (1), estos corresponden al 61,06 % de los residuos generados que terminan al final de su vida útil en un relleno sanitario. De este grupo, se resalta que el 52,52 % de los residuos proviene exclusivamente de residuos de comida. Además, existen materiales potencialmente aprovechables económicamente como lo son el papel y cartón (2), madera (3), textiles (5), metales (7), vidrio y cerámica (8) y plástico (9) que llegan al relleno. Este grupo de materiales corresponde a un 28,77 % del material dispuesto en el relleno y representa una oportunidad de valorización económica al recuperar dicho material.

**Gráfico 3** Caracterización nacional de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario a nivel nacional

Fuente: SSPD<sup>14</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

El Conpes 3874 de 2016, como fue mencionado anteriormente, establece la Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, la cual determina la jerarquía en la gestión de

<sup>13</sup> *Ibid*

<sup>14</sup> *Ibid*

residuos sólidos con el fin de asegurar un adecuado manejo de los mismos y motivar una economía circular con estos materiales. Así, se establece que si no ha sido posible reducir la generación del residuo ni reutilizarlo, este debe ser reciclado. Estos procesos se conocen en mayor medida como las 3R. Una vez se recupera el material reciclable, los residuos pasan a una nueva selección para reincorporarlos a procesos productivos (compostaje, digestión anaerobia, entre otros). Posteriormente, se evalúa la viabilidad de usar estos residuos para generar energía y, finalmente, como última opción, se disponen los residuos en un relleno sanitario o se incineran sin aprovechamiento energético<sup>15</sup>.

En Colombia, es compromiso del consumidor y/o generador hacer una separación en la fuente; lo cual implica separar el material reciclable (residuos inorgánicos) de los demás residuos orgánicos al momento de que sean usados y dispuestos en canecas con destino a la disposición final. Para esto, el ICONTEC ha desarrollado los criterios y las pautas necesarias para realizar una gestión adecuada de división de los residuos sólidos, toda vez que es obligación de los usuarios presentar los residuos separados, con el propósito de que sean aprovechados y entregados a la persona o entidad prestadora. Esta empresa será la responsable de su recolección, transporte, pesaje y clasificación en una ECA. Dicha ECA es una instalación técnicamente diseñada con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicada al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos, y que cuenta con las autorizaciones ambientales a que haya lugar<sup>16</sup>.

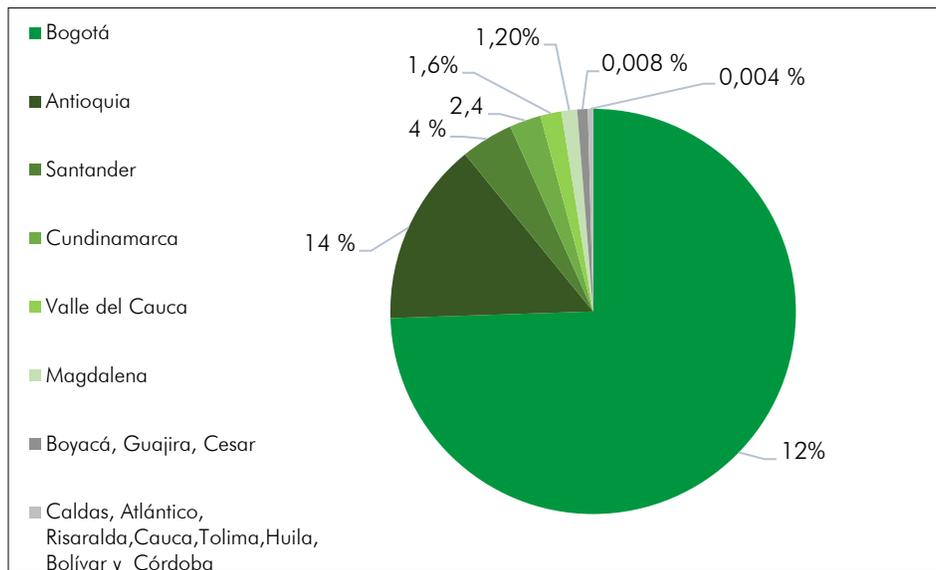
Según el *Informe nacional de aprovechamiento* de la SSPD, en 2016 se encontraban registradas 250 ECA, las cuales se encuentran distribuidas en Bogotá D. C. y 16 departamentos de Colombia. Bogotá es la ciudad que cuenta con el mayor número de estaciones, 178, seguida por los departamentos de Antioquia con 35 y Santander con 10. A estos les siguen los departamentos de Cundinamarca, Valle del Cauca, Magdalena, Boyacá, Guajira, Cesar, Caldas, Atlántico, Risaralda, Cauca, Tolima, Huila, Bolívar y Córdoba con 6, 4, 3, 2 y 2 estaciones, respectivamente para los 5 primeros departamentos, y 1 ECA para los departamentos restantes (gráfico 4):

---

<sup>15</sup> COLOMBIA. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. CONPES 3874. Óp. cit.

<sup>16</sup> SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe Nacional de Aprovechamiento. Óp. cit.

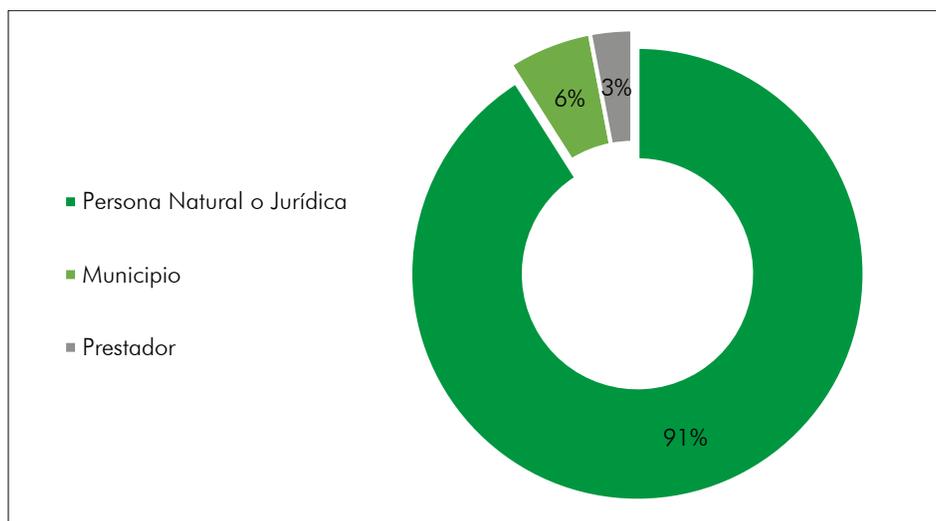
**Gráfico 4** Número de ECA a nivel departamental



**Fuente:** SSPD<sup>17</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De igual manera, los datos reportados por los prestadores relacionados con el propietario de las ECA muestran que el 91 % de las estaciones registradas tiene como propietario a una persona natural o jurídica, el 6 % pertenece a municipios y el 3 % pertenece al prestador del servicio de aseo, como se muestra en el gráfico 5:

**Gráfico 5** Propietarios de las estaciones de clasificación y aprovechamiento



**Fuente:** SSPD<sup>18</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

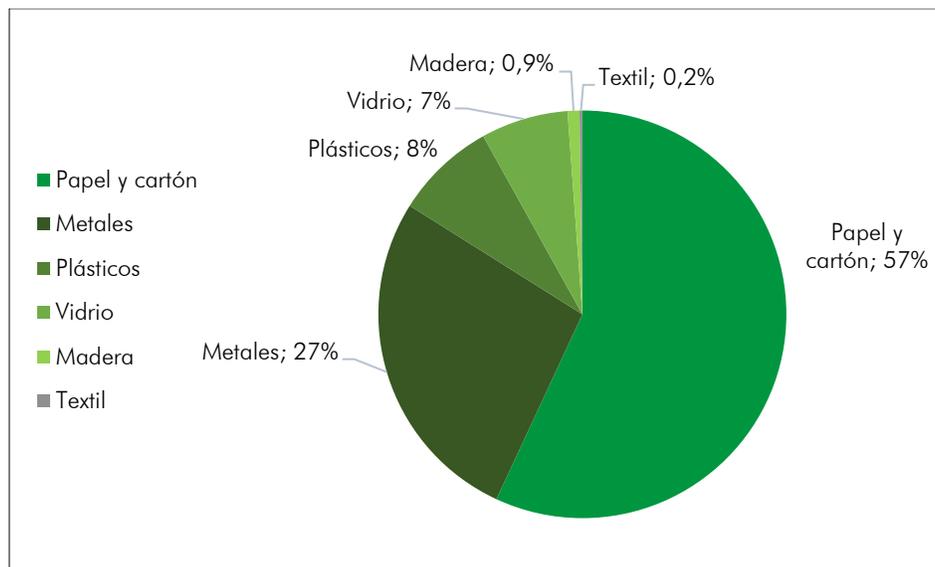
<sup>17</sup> *Ibid.* p.34.

<sup>18</sup> *Ibid.* p.35.

Así, considerando la gestión de residuos indicados por el Conpes y la información derivada de la caracterización de los residuos, es posible establecer que existe un 81,29 % de material aprovechable (entre reciclables y materia orgánica) que en la actualidad están siendo dispuestos en los rellenos sanitarios y el cual podría incorporarse a diversos procesos para su aprovechamiento. Convirtiendo este porcentaje a toneladas, de las 11.303.309 t/año de residuos generados en 2016, 9.188.142 t podrían ser aprovechadas para distintos usos, con el ánimo de reducir la disposición anual a tan solo 2.115.167 t. Se resalta que si bien los porcentajes y valores mencionados anteriormente corresponden a un aprovechamiento del 100 % del material recuperable, este nivel de aprovechamiento aún no ha sido alcanzado; en consecuencia, el Conpes establece metas para aumentar la recuperación de materiales.

Con respecto al material aprovechable, en Colombia ya se presenta su aprovechamiento. De acuerdo con el Informe Nacional de Aprovechamiento 2016 de la SSPD, se evita la entrada de 97.905 t de residuos sólidos reutilizables a los rellenos sanitarios, los cuales se componen de los porcentajes expuestos en el gráfico 6:

**Gráfico 6** Caracterización del material reciclado



**Fuente:** SSPD<sup>19</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Al comparar las toneladas de residuos reciclados con las toneladas de material potencialmente reciclable de los residuos que hoy llegan a los rellenos sanitarios (3.251.542,48 t), corresponden a tan solo el 3%. Así, la jerarquía en la gestión de residuos sólidos se debe reevaluar, con el objeto de asegurar su cumplimiento. Tal reevaluación implica la adopción de las medidas

<sup>19</sup> *Ibid.* p.44.

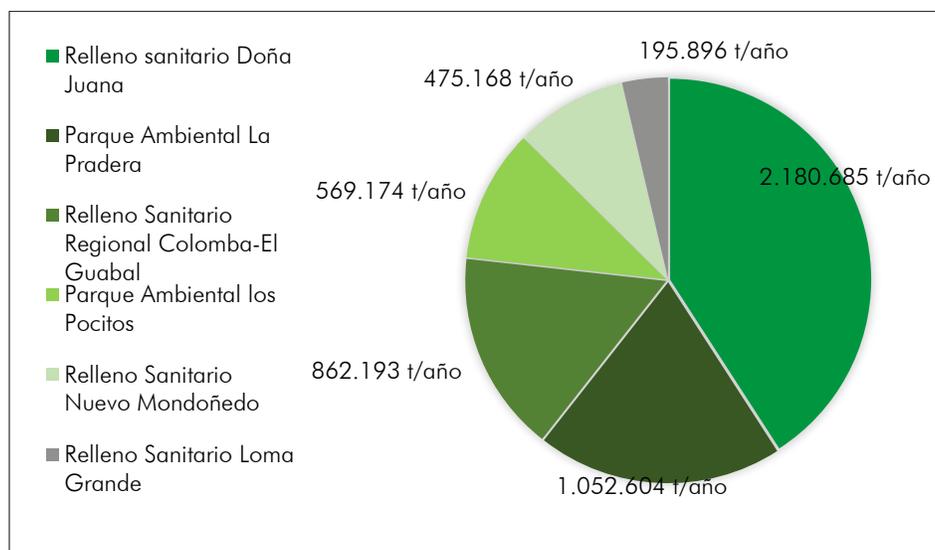
necesarias en actividades de consumo responsable, prevención, reducción y separación en la fuente, almacenamiento, transporte, aprovechamiento y valorización, para extraer el máximo valor a los residuos, antes de considerar su disposición final.

### 2.1.3 Producción de biomasa residual en Colombia

En Colombia, en el día se generan más de 32.000 t de RSU y de las cuales más de 19.000 t son residuos orgánicos (60 % de los residuos urbanos); de estas, más del 41 % de las toneladas diarias se producen en las en las 4 ciudades más grandes de Colombia: Bogotá (23,6 %), Cali (8 %), Medellín (7,3 %) y Barranquilla (2,1 %) <sup>20</sup>. Asimismo, se estima que un 30 % de todos los rellenos sanitarios del país no cumplen con las normas ambientales, y un gran número alcanzará la saturación en los próximos 5 años.

De acuerdo información recolectada por la SSPD en 2016, en el gráfico 7 se presentan los rellenos sanitarios más representativos, entre los que se encuentra Doña Juana, la Pradera, el Guabal, los Positos, Nuevo Mondoñedo y Loma Grande, con un total de generación de 5.335.720 t/año en los 6 rellenos sanitarios analizados , y en donde Doña Juana representa la mayor cantidad de generación con 2.180.685 t/año seguido del Parque Ambiental La Pradera con 1.052.604 t/año.

**Gráfico 7** Cantidad de disposición de residuos en rellenos sanitarios



**Fuente:** SSPD<sup>21</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>20</sup> OCDE. Evaluaciones del desempeño ambiental [en línea]. Colombia, 2014. Ed. CEPAL, Cap. 5 [citado en 2018-11-19]. Disponible en Internet: <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768_es.pdf)>

<sup>21</sup> Datos extraídos por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) para el año 2016. Óp. cit.

De acuerdo con lo expresado, el relleno sanitario Doña Juana dispuso de 2.180.685 t/año de RSM, que resultan de 8 municipios que lo abastecen: Bogotá, Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fosca, Gutiérrez, Ubaque y Une. Mientras, el Parque Ambiental La Pradera presenta una disposición de 1.052.604 t/año de RSM, que provienen de 32 municipios, entre los que se hallan Caldas, Itagüí, Envigado, Rionegro, Sabaneta, Bello, entre otros.

Igualmente, se registra el relleno sanitario regional Colomba-El Guabal con una disposición de 862.193 t/año, que proceden de 13 municipios: Cali, Villa Rica, Candelaria, Quachené, Jamundí, Restrepo, Yumbo, Caloto, Padilla, Santander de Quilichao, Dagua, Florida y La Cumbre. También, se presenta el Parque ambiental Los Pocitos, en el que se disponen 569.174 t/año de RSM, correspondientes a 4 municipios: Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia y Sabanalarga. Mientras, el relleno sanitario Loma Grande anuncia una disposición de 195.896 t/año de RSM, que se derivan de las actividades de 19 municipios: Montería, Canalete, Ciénaga de oro, Los córdobas, Moñitos, Planeta rica, Pueblo nuevo, Puerto escondido, San Bernardo del Viento, San Carlos, San Pelayo, Tierra alta, Valencia, Ayapel, Chimá, Cereté, La Apartada, Montelíbano y Puerto Libertad. Por último, con una disposición de 475.168 t/año de RSM, el Relleno sanitario Nuevo Mondoñedo responde a la necesidad de disposición final de 78 municipios, entre los que se encuentran: Soacha, Cajicá, Chía, Cota, Funza, Madrid, Mosquera, Facatativá, Fusagasugá, entre otros.

#### 2.1.4 Potencial energético de la biomasa residual en Colombia

Los usos potenciales de la biomasa como fuente alternativa de energía y sus esquemas tecnológicos para su aprovechamiento exigen que se profundice en su conocimiento, y sobre los aspectos relacionados con su oferta, composición y potencial energético. Como se puede observar en la figura 3, en Colombia hay muchas zonas que tienen un gran potencial de biomasa residual. Este potencial proviene de diversas fuentes de biomasa tales como la agrícola, animal o de residuos sólidos orgánicos urbanos, las cuales pueden ser usadas para la generación de energía, así:

- Gran parte de la región Andina y Caribe tiene un potencial entre alto y medio (1.000 TJ/año -3.000 TJ/año) para el aprovechamiento de la biomasa, especialmente la agrícola, en el caso de la región Andina.
- La biomasa pecuaria es representativa para los municipios de Montería, Valledupar, Fusagasugá Girón y Lebrija, con un potencial energético entre 1.000 TJ/año y 20.000 TJ/año.
- Cartagena y Bogotá son los municipios donde las biomasa presentes en los residuos sólidos orgánicos urbanos (106 TJ/año y 104 TJ/año) tienen más contenido energético.
- Montería, Cúcuta, Manizales, Medellín, Ibagué, Cali y Barranquilla representan un potencial considerable para aprovechamiento (15 TJ/año – 40 TJ/año).

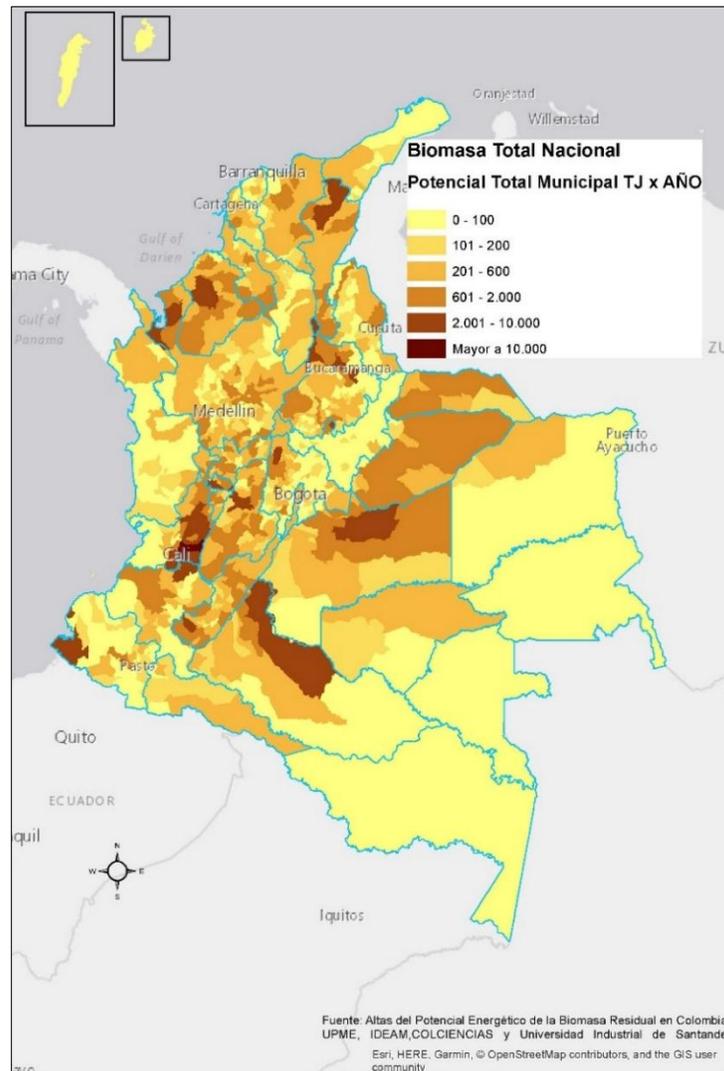
- La región Pacífica, Amazónica y Orinoquia presenta un bajo potencial para aprovechamiento de la biomasa residual.
- Los municipios Paz de Aripora del departamento de Casanare y San Vicente de Caguán del departamento de Caquetá son los que demuestran un potencial considerable (1.546 TJ/año y 2.246 TJ/año) aprovechable de biomasa pecuaria.
- Tumaco, por su parte, presenta un potencial de 2.919 TJ/año de aprovechamiento a partir de biomasa agrícola.

En las regiones mencionadas anteriormente no se presenta un aprovechamiento de biomasa de residuos sólidos orgánicos municipales. Sin embargo, por su alta biodiversidad la biomasa pecuaria y agrícola puede ser aprovechable en estas regiones<sup>22</sup>.

---

<sup>22</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. (UPME). Visor geográfico: Atlas biomasa residual [en línea]. Bogotá [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://upmeonline.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=31e8d575328842748672626929bdcbf6>>

Figura 3 Potencial de la biomasa en Colombia



Fuente: UPME<sup>23</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

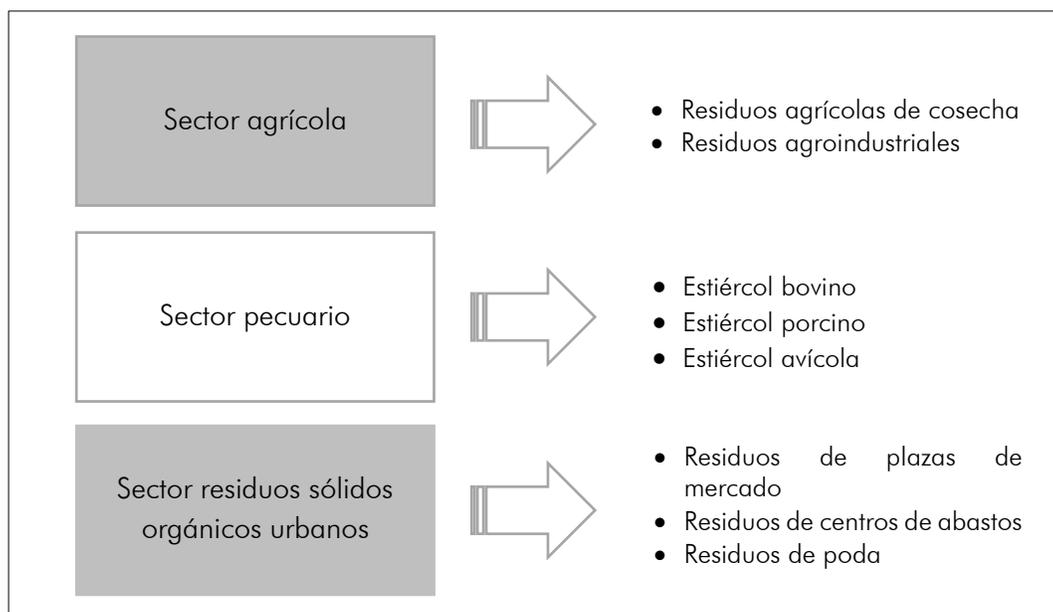
Como se ha venido mencionando y según lo presentado en el *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia*, como fuentes de biomasa residual son consideradas las áreas que presentan un tipo de biomasa aprovechable para los procesos de transformación (figura 4). El primer sector es el agrícola, en donde se destacan los cultivos transitorios, y cuyo ciclo de crecimiento es, en general, menor de un año y tienen como característica fundamental que después de la cosecha deben volver a sembrarse para seguir produciendo (arroz y maíz). Igualmente, se resaltan los cultivos permanentes que, después de plantados, llegan en un tiempo relativamente largo a la edad productiva, terminada su recolección no se deben plantar de nuevo

<sup>23</sup> *Ibid.*

(banano, café, plátano, caña de panela, palma aceite y caña de azúcar), y son fuente generadora de biomasa.

Para el sector pecuario se destacan tres grupos diferentes de animales por sectores: avícola (aves para producción de huevos y carne), bovino (reses para producción de leche, carne y doble propósito) y porcino (cerdos de criaderos tecnificados y no tecnificados). Finalmente, para el sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos se hace referencia a los residuos generados en las plazas de mercados, centros de abastos y residuos de podas y mantenimiento de áreas verdes<sup>24</sup>.

**Figura 4** Fuentes de biomasa residual

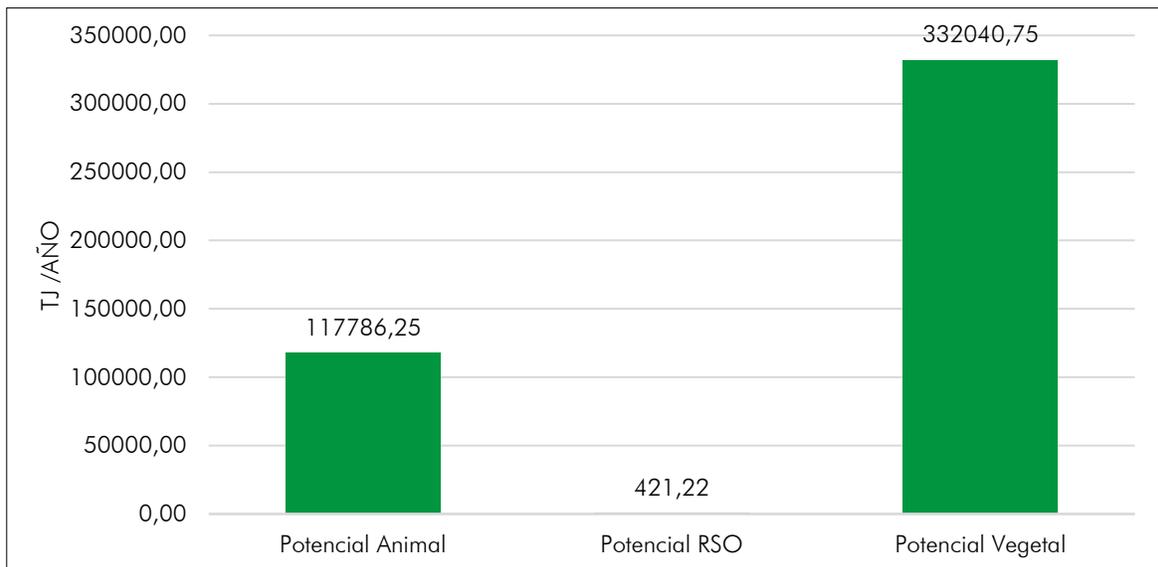


**Fuente:** UPME<sup>25</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Según el *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*, el país tuvo un potencial energético de 450.248,22 TJ/año, provenientes de residuos de animales, vegetales y de RSO. Como se puede evidenciar en el gráfico 8, los residuos vegetales cuentan con una alta participación dentro del potencial energético de la biomasa (73,7 %), y corresponden a 332.04 TJ/año. En segundo lugar, se encuentran los residuos de animales con un potencial de 117.78 TJ/año, equivalentes al 26,2 % y, por último, con tan solo el 0,1 %, es decir, 421 TJ/año de potencial energético se encuentran los RSO.

<sup>24</sup> UPME, UIS, IDEAM y CEIAM. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia [en línea]. Bogotá, 2010 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: < <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058> >

<sup>25</sup> *Ibid.* p.30.

**Gráfico 8** Potencial energético de la biomasa residual en Colombia

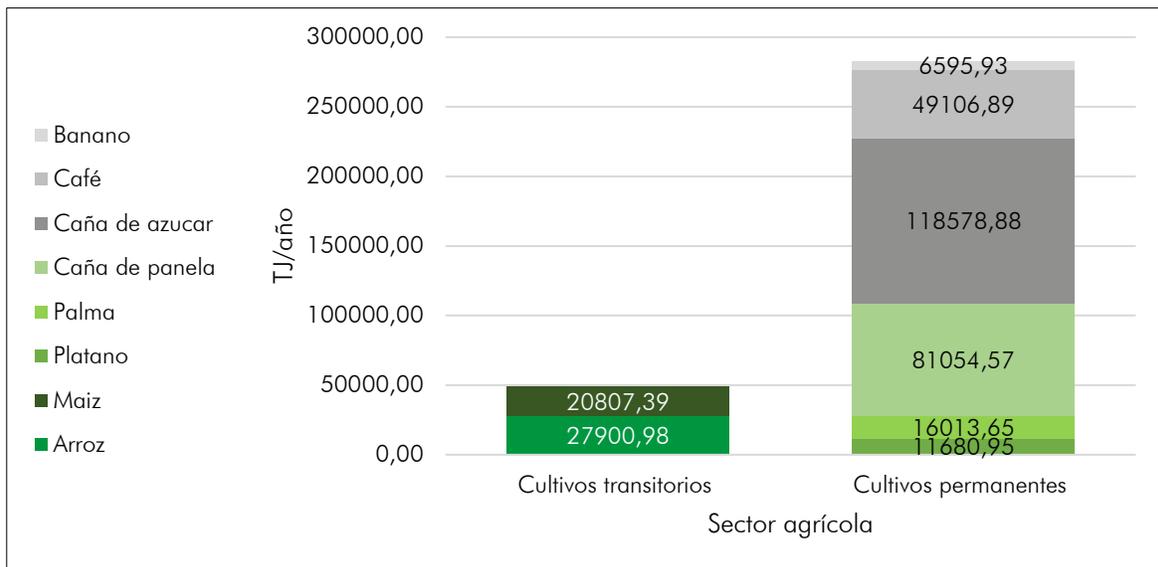
**Fuente:** UPME<sup>26</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Entre tanto, el potencial para desarrollar cultivos energéticos más allá de la porción de aquellos existentes en el caso de la palma de aceite y la caña de azúcar (que son utilizados para la producción de biocombustibles) es igualmente considerable, dado que se visualiza la disponibilidad de tierras con vocación agrícola<sup>27</sup>. Así es como esquemas integrales de manejo de residuos de biomasa (p. ej., residuos del arroz, café, cacao, banano, y otros cultivos) que integren el aprovechamiento energético, sumado al eventual desarrollo de tierras productivas con objeto de cultivos energéticos, han de desempeñado un papel importante en el desarrollo del aprovechamiento del residuo como transformación energética<sup>28</sup>.

<sup>26</sup> El potencial energético de biomazas que se expresa en los resultados gráficos es generado según los datos expresados en el atlas del potencial de la biomasa residual en Colombia, 2010.

<sup>27</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia [en línea]. Bogotá: 2015, pp. 43-47 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)>

<sup>28</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia [en línea]. Bogotá: 2003, pp. 24-26 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[file:///C:/Users/amramirez/Downloads/Upme%20279%20potencialidades%20de%20los%20cultivos%20energetic os%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/amramirez/Downloads/Upme%20279%20potencialidades%20de%20los%20cultivos%20energetic os%20(2).pdf)>

**Gráfico 9** Potencial de la biomasa agrícola

Fuente: UPME<sup>29</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

A partir de la información recolectada SSPD en 2016 y el *Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia*, es posible conocer la cantidad de residuos generados en el sector agrícola y clasificados como transitorios y permanentes. Al analizar dicha información, es posible determinar que, a nivel nacional, se produjeron 72.000.739 t/año de biomasa residual agrícola, el cual cuenta con un potencial energético de 331.739 TJ/año, de los cuales el 85 % de este potencial hace referencia a los cultivos permanentes y el 15 % a cultivos transitorios (gráfico 9).

Dentro de los cultivos permanentes el que contiene un potencial energético más representativo es la caña de azúcar con un 42 %, equivalente a 15.534.590 t/año y con un potencial de 118.578 TJ/año. La caña de panela, por su parte, presenta el 29 %, equivalente a 9.513.430 t/año generadas, y 81.054 TJ/año de potencial. El tercer lugar, ocupado por el café, tan solo presentó el 17 % con 5.051.247 t/año y con un potencial de 49.106 TJ/año.

Gracias a la vocación agrícola del país, la biomasa como insumo para la generación de energía posee un potencial de aprovechamiento considerable, debido a la facilidad para encontrar residuos orgánicos que contribuyan a la creación de energía, ya sea biomasa natural o biomasa residual. Aunque para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible, es necesario dirigir todos los esfuerzos hacia el manejo adecuado de la biomasa residual, de modo que garantiza un suministro energético y soluciona un problema ambiental ocasionado por la mala disposición de estos residuos.

<sup>29</sup> Datos extraídos del atlas del potencial de la biomasa residual en Colombia, 2010. Óp.cit.

### 2.1.5 Residuos y el cambio climático

El acercamiento entre cambio climático y residuos sólidos no es nuevo en el país, en 2007 el RSDJ recibió la concesión, por parte de la UAESP, para la recolección, el tratamiento, el aprovechamiento y la destrucción del biogás generado en el relleno. El proyecto cuenta con dos líneas de negocio, una primera enfocada en producción de CER, dada la reducción en sus emisiones de GEI y, una segunda, centrada en la generación de energía eléctrica a partir del biogás. El RSDJ tiene una producción entre 6.000 Nm<sup>3</sup>/h y 7.000 Nm<sup>3</sup>/h de biogás y una generación de energía entre 200 KWh y 500 KWh<sup>30</sup>. Adicionalmente, se reducen 800.000 t/año de CO<sub>2</sub>, y el 24 % de los recursos obtenidos por la venta de los CER es entregado al Distrito Capital para ser invertidos en programas sociales. Además, el RSDJ ha implementado proyectos de captación del biogás en distintos rellenos sanitarios de ciudades como Armenia, Cartagena, Montería.

En 2010 la producción diaria de residuos sólidos municipales en Colombia fue de aproximadamente 20.000 t/día, equivalentes a 8,06 Mt CO<sub>2</sub>. Durante ese año, las emisiones colombianas de GEI fueron 223,95 Mt CO<sub>2</sub>; es decir, el impacto de la actividad de disposición final en la generación de GEI en la Nación fue de cerca de 3,6 %<sup>31</sup>.

En consecuencia, la Política nacional para la gestión de residuos sólidos fue actualizada a través del Conpes 3874 de 2016, con el fin de facilitar la transición desde un modelo lineal hacia una economía circular a través de la gestión integral de residuos sólidos; con ello, se espera la optimización de los recursos para que los productos permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y se aproveche al máximo su materia prima, así como su potencial energético. Para esto, la política se basa principalmente en cuatro ejes estratégicos enfocados en prevenir la generación de residuos; minimizar aquellos residuos que van a sitios de disposición final; promover la reutilización, el aprovechamiento y el tratamiento de residuos sólidos, y evitar la generación de gases de efecto invernadero.

## 2.2 Revisión de tecnologías de valoración energética a partir de residuos sólidos urbanos (WTE)

Con el propósito de dar cumplimiento al alcance del estudio, se presenta en este apartado un recuento de las principales tecnologías utilizadas a nivel internacional para la valorización

---

<sup>30</sup> UAESP. Seguimiento avance plan de supervisión y control del servicio de disposición final. [en línea]. Bogotá: 2018 [citado en 2018-10-04]. Disponible en Internet: <<http://www.uaesp.gov.co/content/informes-supervision-disposicion-final>>

<sup>31</sup> IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia; emisiones de GEI años 2010 y 2012 [en línea]. Bogotá D.C.: 2015, pp. 69-89 [citado en 2018-11-19]. Disponible en Internet: <[https://unfccc.int/files/national\\_reports/nonannex\\_i\\_parties/biennial\\_update\\_reports/application/pdf/colbur1.pdf](https://unfccc.int/files/national_reports/nonannex_i_parties/biennial_update_reports/application/pdf/colbur1.pdf)>

energética de residuos, resaltando la importancia que tiene el desarrollo de estas tecnologías en el país desde el punto de vista técnico, ambiental, financiero y económico.

### 2.2.1 Tipos de tecnologías de valorización energética de residuos

Existen actualmente en el mercado diferentes tipos de tecnologías que permiten obtener una valorización energética de los residuos. Estas tecnologías se diferencian por los residuos o sustratos que pueden ingresar en los procesos; a su vez, varían por los procesos termoquímicos involucrados para la valorización energética y, además, por los productos energéticos generados. Para objeto de este documento, todas las tecnologías de valorización energética de residuos serán referidas como WTE y los residuos por tratar estarán principalmente orientados a las biomasa residuales.

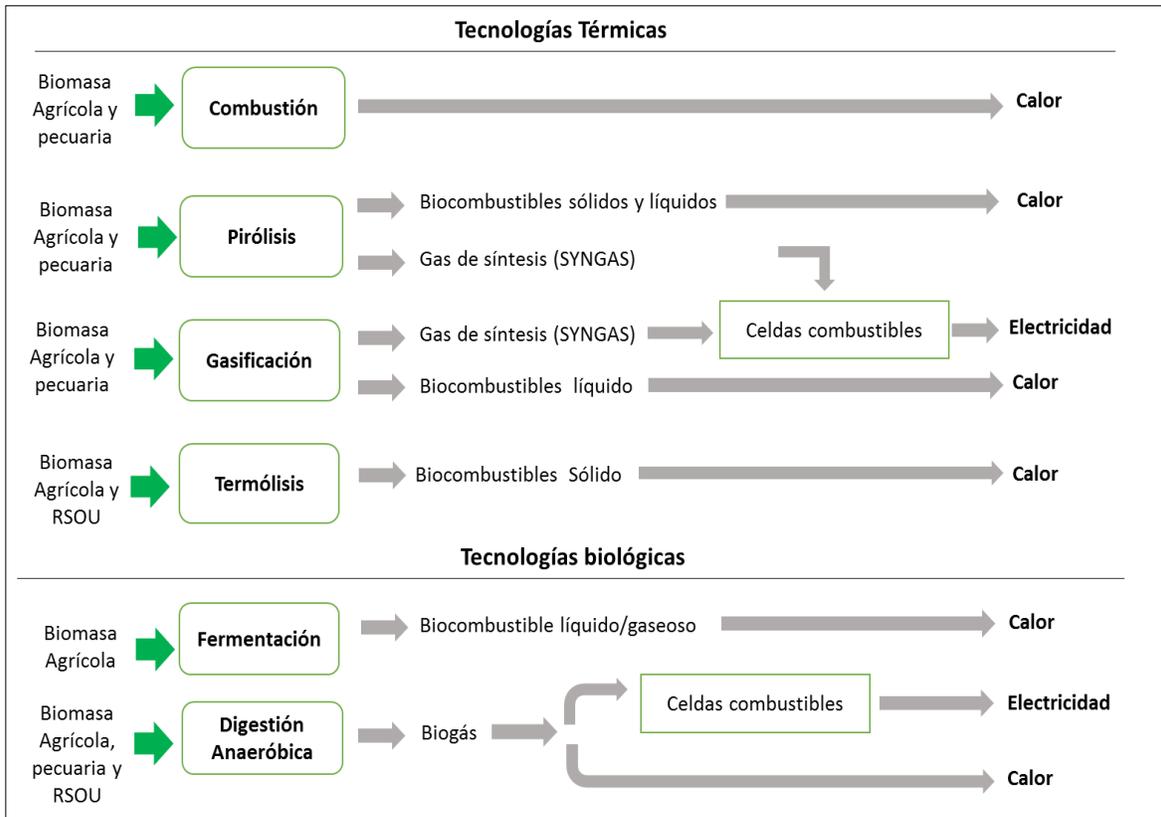
La biomasa es la única fuente de energía renovable que puede ser transformada en combustible gaseoso, líquido o sólido, mediante procesos de conversión térmicos y biológicos (figura 5). Según las propiedades físico-químicas, bioquímicas y energéticas del residuo, se puede realizar un determinado tipo de tratamiento y/o aprovechamiento energético. La transformación energética de la biomasa genera principalmente biocombustibles y biogás, a partir de los cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz<sup>32</sup>. Por ende, el tipo de tratamiento de la biomasa por proceso termoquímico dependerá de factores como el contenido de humedad, el valor calorífico, el contenido de carbono fijo y volátil, el contenido de cenizas y los metales alcalinos presentes en el residuo<sup>33</sup>. De las tecnologías presentadas en la figura 5, se destaca que las tecnologías mejor consolidadas en el mercado internacional para la valorización energética de los residuos, se encuentra la digestión o degradación anaeróbica, pirólisis y la incineración o combustión.

---

<sup>32</sup> MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 2): Conversion technologies. En: Bioresource Technology. Vol. 83, nro. 1 (mayo, 2002). Reino Unido: Elsevier; pp. 47-54.

<sup>33</sup> MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 1): overview of biomass. En: Bioresource Technology. Vol. 83, nro. 1 (mayo, 2002). Reino Unido: Elsevier; pp. 37-46.

Figura 5 Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa.



Fuente: UPME<sup>34</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018

Así, el aprovechamiento de los residuos sólidos aparece como una oportunidad de valorización y alternativa producción de energía a partir del procesamiento de los mismos. Este aprovechamiento hace referencia al uso de tecnologías para la generación de energía en forma de calor, electricidad o combustibles alternativos como biogás, a partir del tratamiento térmico o biológico de residuos.

Estas tecnologías de valorización son básicamente un método de tratamiento de residuos para recuperar energía de sus componentes, tecnologías que, pueden reducir de manera significativa el volumen de los materiales dispuestos en rellenos sanitarios. Esto, dependiendo del tipo de tratamiento, se logra gracias a la combustión de los elementos ricos en carbono e hidrogeno presentes en los residuos, que al reaccionar con el oxígeno dan como resultado principalmente energía y subproductos, o a través de la degradación biológica de los mismos. Se resalta que la eficiencia de la conversión energética depende en gran medida de la composición de los insumos utilizados y del tipo específico de tecnología empleada.

<sup>34</sup> UPME, UIS, IDEAM y CEIAM. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Óp. cit.

### 2.2.1.1 Tecnologías basadas en procesos termoquímicos

Tecnologías de conversión termoquímica son aquellas que mediante el uso de altas temperaturas recuperan energía del residuo sólido. Estos sistemas térmicos se han convertido en una alternativa que se debe considerar para el tratamiento de los residuos recolectados en masa, o para aquellas fracciones de residuos cuyo destino final sería un relleno sanitario. Los sistemas de aprovechamiento térmico más reconocidos son: incineración y pirólisis, los cuales son diferenciados por la cantidad de exceso de aire y temperatura dentro del proceso, que conduce a la conversión del producto final o productos intermedios útiles. Estos productos son: sólidos (carbón o ceniza), líquido (bioaceite o alquitrán) y gases (gas de síntesis) que se generan gracias a la materia prima utilizada en el proceso<sup>35</sup>.

#### A Incineración

Este proceso permite reducir el peso (aprox. 70 %) y volumen de los residuos (aprox. 90 %) del sustrato dada la combustión de RSU en presencia de oxígeno a altas temperaturas (750 °C-1.100 °C). Sus productos finales son la generación de energía eléctrica o calor, o una combinación de ambas conocida como cogeneración. Estos procesos de incineración también son implementados para residuos industriales, en especial en Colombia en la industria agrícola en la cual se genera biomasa residual homogénea y con un alto poder calorífico.

Durante la combustión de los residuos, varios procesos complejos ocurren simultáneamente. Inicialmente, el calor en la cámara de combustión de una caldera evapora la humedad contenida en los residuos y volatiliza sus componentes. Los gases resultantes se encienden, luego, en presencia de aire de combustión para comenzar el proceso de combustión real. El proceso conduce a la conversión de combustible residual en gases de combustión, ceniza y calor. El calor liberado se utiliza para producir vapor de agua a alta presión sobrecalentado, que después se envía a la turbina de vapor que se acopla con el generador para producir electricidad, o para proporcionar vapor de proceso.

Una de las ventajas que presenta esta tecnología es la posibilidad de tratar variedad de residuos como son los RSU, residuos orgánicos biodegradables, residuos agrícolas, de poda, de madera, residuos peligrosos y residuos de construcción y demolición (RCD). Las plantas de incineración de RSU en el mundo se encuentran acopladas con sistemas de separación de materiales previa incineración y conversión a energía para que estos sean reciclados, para aumentar así la rentabilidad del proceso. No obstante, el proceso es capaz de incinerar los residuos sin su

---

<sup>35</sup> WORLD ENERGY COUNCYL. World Energy Resources Waste to Energy. [en línea]. 2016. [citado en 2018-11-22]. Disponible en Internet: <[https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources\\_Waste\\_to\\_Energy\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Waste_to_Energy_2016.pdf)>

separación, lo anterior contando con robustos sistemas de control de emisiones atmosféricas que permitan cumplir con los más estrictos estándares globales de calidad del aire.

Se señala que de este proceso se genera un residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes y cenizas. Las cenizas pueden ser utilizadas como material de construcción y los residuos que no son aprovechables y, por lo tanto, son finalmente dispuestos en rellenos sanitarios.

## **B Pirólisis**

Proceso en el que los materiales orgánicos se calientan rápidamente a una temperatura entre 450 °C y 600 °C en ausencia de aire. En estas condiciones, se producen vapores orgánicos, gases permanentes y carbón vegetal, y dichos vapores se condensan para formar aceite de pirólisis. Este líquido limpio y uniforme se puede usar como una alternativa sostenible para los combustibles fósiles para la producción de químicos y energía renovable.

### **2.2.1.2 Tecnologías basadas en procesos bioquímicos**

Estas tecnologías aprovechan la propiedad de biodegradación que tiene la biomasa, la cual es transformada por acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Estos procesos se pueden realizar a temperatura ambiente o un poco más elevada, para mejorar la eficiencia. Los procesos bioquímicos se pueden desarrollar en condiciones anaeróbicas o de fermentación alcohólica. La materia húmeda de los RSU (la fracción biogénica) y los residuos agrícolas y pecuarios, son las materias primas más adecuadas para las tecnologías de conversión biológica. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas, tal como se ve en la figura 6, estos son: hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica.

La primera etapa es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos), que son hidrolizadas por la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se produce compuestos solubles y fácilmente degradables (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas, lo que da lugar, principalmente, a los ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios (etapa acidogénica).

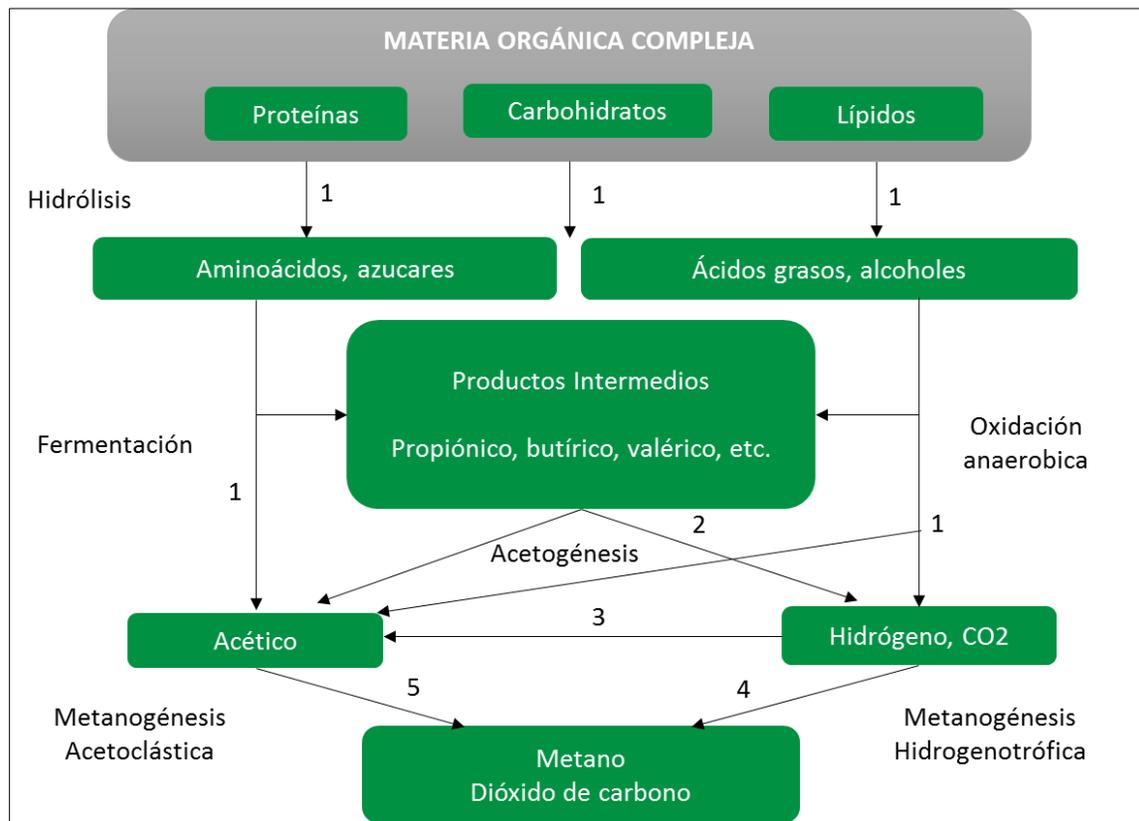
En la etapa acetogénica, los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono mediante la acción de los microorganismos acetogénicos (etapa metanogénica); los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. En esta etapa se distinguen dos tipos principales de microorganismos: los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas

acetoclásticas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenotróficas).

Las tecnologías basadas en digestión anaerobia de la materia orgánica producen dos tipos de corrientes:

- Biogás combustible con una concentración de metano superior al 60 %, y poder calorífico inferior al orden de  $5.500 \text{ kcal/m}^3$ , inferior al gas natural, ya que en este la concentración de metano es del 95 %.
- Biosólido húmedo, rico en nutrientes, el cual puede ser empleando en el mejoramiento de suelos.

**Figura 6** Descripción del proceso de degradación anaerobia de la biomasa



Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

**Fuente:** PAVLOSTATHIS y GIRALDO GÓMEZ<sup>36</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

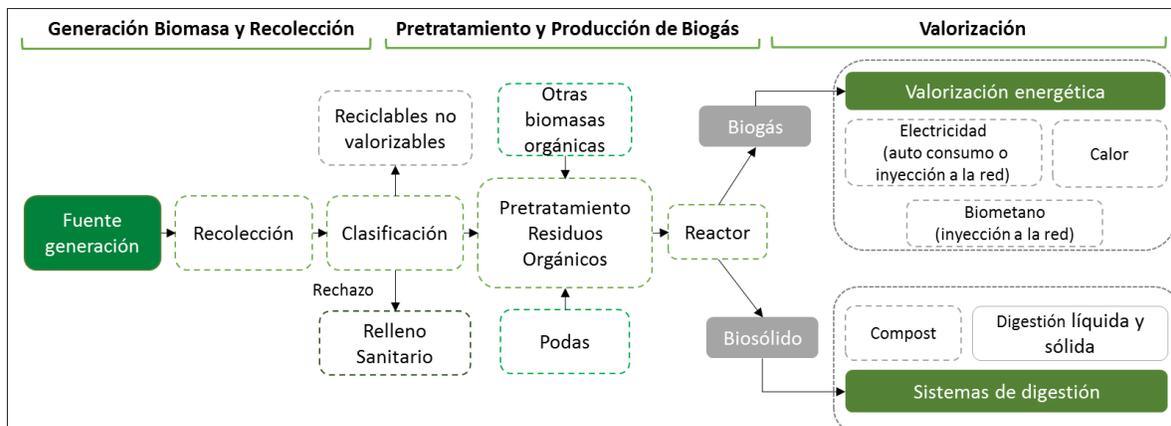
<sup>36</sup> PAVLOSTATHIS, Spyros y GIRALDO GÓMEZ, Eugenio. Kinetics of anaerobic treatment: a critical review. En: Critical reviews in environmental Control. Vol. 21, Nro. 5-6 (1991). pp. 411-490

Dado el alto contenido de humedad en las biomásas de residuos sólidos orgánicos urbanos de plazas de mercado en Colombia (entre el 84 % y 93 %) y su alto nivel de biodegradabilidad (dado por la alta relación C/N), las tecnologías basadas en procesos bioquímicos son más adecuadas que las basadas en procesos térmicos. Una relación C/N del orden de 16 se considera óptima para la producción de Biogás. De este modo, p. ej., los residuos de plátanos y banano, con humedades cercanas al 94 %, son aptos para procesos de conversión bioquímicos, como la biodigestión o la fermentación. Los residuos orgánicos de plazas en Colombia poseen valores de sólidos volátiles entre 62,35 % y 91,51 %, este contenido de sólidos volátiles es un indicador importante en la eficiencia de la producción de Biogás, dado que en ellos están presentes los componentes orgánicos que son convertidos en metano.

Una cadena de valor típica de proyectos de biogás/biometano (figura 7) se compone de tres segmentos globales:

1. Localización y recolección de materia prima.
2. Pretratamiento de residuos (paso no siempre necesario) y producción de biogás.
3. Valorizaciones, que incluyen al biogás (en electricidad, calor o biometano) y la gestión de los biosólidos y su posible valorización (en composta o fertilizante líquidos y sólidos).

**Figura 7** Cadena de valoración de biogás y biometano



**Fuente:** Global Green Growth Institute<sup>37</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

La valorización del biogás puede proporcionar productos finales como la electricidad para autoconsumo, electricidad producida con o sin cogeneración (con y sin valorización de calor), para inyección a la red eléctrica producida con o sin cogeneración (con y sin valorización de calor), calor de proceso con una caldera, biocombustible para vehículos a gas, o producida a partir de biogás convertido en biometano, biogás transformado en biometano para su inyección

<sup>37</sup> Global Green Growth Institute. [en línea]. 2017. [citado en 2018-10-14]. Disponible en Internet: <<http://gggi.org/>>

a las redes de transporte o distribución de gas. Todos estos servicios finales están presentes o son posibles en Colombia, y no se ven obstaculizados por ningún tipo de barreras regulatorias. El país da derecho a:

- Producción de energía eléctrica para autoconsumo según la Ley 1715 (sección 3.1.2).
- Producción energía eléctrica para inyección a la red según la Ley 1715 (sección 3.1.2).
- Inyección a la red de gas según la Resolución 240 (sección 3.1.2).

El potencial del uso final del biogás dependerá por tanto de las demandas locales, así como de su competitividad con las correspondientes referencias económico-energéticas (que son los precios de venta o los costos de generación).

## A Degradación anaeróbica

Descomposición de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocido como «biogás»; producto principal del proceso que es comúnmente utilizado para generación de energía eléctrica, y cuya composición depende tanto de la materia prima como el proceso entre sí.

Por otro lado, durante el proceso se genera una masa restante biodegrada por las bacterias conocido como «digestato» que es utilizado como abono para la fertilización de suelos<sup>38</sup>.

Este tipo de tratamiento puede ser aplicado en un amplio rango de materias primas incluyendo lodos de PTAR con alta carga orgánica, residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU), y residuos agropecuarios<sup>39</sup>. Además, según el tipo de residuos por tratar, la degradación anaeróbica puede considerarse húmeda, para el caso de aguas residuales o residuos con alto contenido de humedad; o seca, para el tratamiento de residuos sólidos con baja humedad.

## 2.3 Fichas técnicas de información de tecnologías WTE

De acuerdo con el alcance del estudio, se elaboraron unas fichas técnicas de las tecnologías de valorización energética de residuos sólidos urbanos consideradas, las cuales contienen los aspectos generales, ambientales y económicos para las principales tecnologías WTE (incineración, pirólisis y degradación anaeróbica). Lo anterior, con el fin de generar una

<sup>38</sup> LOREZO Y, OBAYA M. La digestión anaerobia: Aspectos teóricos Parte I. [en línea]. La Habana, Cuba: Revista ICIDCA. Vol. XXXIX. No. 1, 2005, p 36. Disponible en internet: <<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>>

<sup>39</sup> GRAU, Armengol y FARRÉ, Oriol. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos: estudio técnico 2011-2020 [en línea]. Madrid: IDEA, 2011. pp. 21-36 [citado en 2018-10-05]. Disponible en: <[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e15\\_residuos\\_c3ead071.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf)>

comparación entre las tecnologías en mención. Los temas que contienen cada aspecto hacen referencia a:

- Aspectos generales: descripción, tipo de tecnología, estado del arte, diagrama general del proceso, tipos de residuos a tratar, capacidad mínima del sustrato, productos del tratamiento, inventario general y específico de las plantas instaladas a nivel mundial.
- Aspectos ambientales: tipo de residuos generados en la operación y consumo de recursos naturales renovables.
- Aspectos económicos: costos e ingresos de las plantas.

Estos temas fueron construidos principalmente a partir de la información presentada por proveedores de tecnologías, equipos y servicios para el tratamiento biológico y térmico de los residuos sólidos, así como información secundaria extraída a partir de una revisión documental suministrada por el cliente y por parte de INERCO Consultoría Colombia, para la complementación de la información. Con el propósito de considerar información verificable, tecnológica y económicamente dentro del modelo, se llevó a cabo un taller de socialización de las tecnologías WTE, con los proveedores invitados por la UPME (Reseggas, Bekon, Ecoful, Vitalogic, y Termólisis de Colombia). El taller consistió en que las empresas introdujeran la compañía y su trayectoria nacional e internacional, seguido de la tecnología que utiliza para la valorización de los RSU. Las características de cada tecnología fueron detalladas, al igual que sus necesidades, insumos, productos, residuos y costos. Esta información se adicionó a la ficha de cada tecnología WTE objeto de estudio (incineración, pirólisis y degradación anaeróbica) (anexo 1).

### 2.3.1 Comparación de las tecnologías WTE

En la tabla 9, se presenta la comparación de cada una de las tecnologías objeto de estudio, teniendo en cuenta, al momento de analizar cada tecnología, los aspectos técnicos ambientales y financieros tales como:

- Técnico
  - Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día).
  - Composición de residuos que ingresan al proceso (orgánico, inorgánico).
  - Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso (humedad, peso volumétrico, poder calorífico).
- Ambiental
  - Generación de agentes patógenos.
  - Contaminación atmosférica.
  - Afectación de suelos.
  - Demanda de agua.

- Financiero
  - Costos asociados a la inversión.
  - Costos de operación y mantenimiento.

Tabla 9 Comparación de tecnologías WTE<sup>40 41</sup>

Tecnologías	Criterios	Beneficios	Limitaciones	Producto primario	Aplicación
Incineración <sup>42</sup>	Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el volumen y la masa al 80 % y 70 %.</li> <li>• Puede tratar RCD, biomasa leñosa y no leñosa.</li> <li>• Puede ser utilizado para el tratamiento de residuos peligrosos.</li> <li>• No es necesario hacer pretratamiento del residuo.</li> <li>• Tecnología ampliamente desarrollada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flujos de residuos de bajo poder calorífico reducen la eficiencia producida.</li> <li>• Rendimiento energético del 17 %.</li> <li>• Requiere que los residuos que ingresan tengan una humedad superior al 3 % y no mayor al 25 %.</li> <li>• Está tecnología requiere de un tratamiento alternativo o disposición final de los subproductos generados en el proceso.</li> <li>• Requiere de alta temperatura para la combustión.</li> <li>• El poder calorífico debe ser mayor o igual a 1.600 Kcal/kg.</li> </ul>	Calor	Generación, electricidad y el calor de vapor
	Ambiental	Destrucción de algunos desechos y la desintoxicación de otros para hacerlos más apropiados para la disposición final.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones atmosféricas(cenizas).</li> <li>• Genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre.</li> <li>• El consumo de agua por tonelada de residuos oscila entre 80 L y 120 L.</li> </ul>		
	Financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de inversión en promedio: USD 536*año/t.</li> <li>• Costo de operación promedio: USD 102*año/t.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo de capital, mantenimiento y operación.</li> <li>• Se requieren, al menos, 1.000 t diarias de residuos para que la actividad sea rentable.</li> </ul>		

<sup>40</sup>HAYELOM, Dargo, AYALIEW, Adhena y GEBREGERGS, Tekilt. Current updates on waste to energy (WTE) technologies: a review. En: Renewable Energy Focus. Vol. 24 (marzo, 2018), p. 9.

<sup>41</sup> UNAM. Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos. [en línea]. Bogotá: 2009 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones\\_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf](http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf)>

<sup>42</sup> IRENA. Biomass for power generation: Renewable energy technologies [en línea]. Vol. 1 (junio, 2012), pp. 1-17 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://irena.org/publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis-Biomass-for-Power-Generation>>

Tecnologías	Criterios	Beneficios	Limitaciones	Producto primario	Aplicación
<b>Pirólisis<sup>43, 44</sup></b>	Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el tratamiento de gases de combustión adecuado para residuos carbonosos.</li> <li>• Disminuye el volumen de los residuos hasta 50 %- 90 %.</li> <li>• Puede tratar biomasa leñosa y RSU, incluyendo el plástico, de caucho, papel, cartón, y neumáticos.</li> <li>• Requieren que los residuos que ingresan al proceso tengan una humedad menor o igual al 20 %.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exige actividades de pretratamiento (p. ej., trituración, tamizado).</li> <li>• Problemática en el tratamiento de los residuos con alta humedad (lodos).</li> <li>• No se desarrolla más allá de la escala piloto.</li> <li>• Está tecnología requiere de un tratamiento alternativo o disposición final de los subproductos generados en el proceso.</li> <li>• Requiere una alta cantidad de energía para el arranque.</li> <li>• Varía mucho el rendimiento energético.</li> <li>• El poder calorífico debe ser mayor o igual a 1.500 Kcal/kg.</li> </ul>	Carbón, bioaceite y syngas	La producción de electricidad productos químicos y solventes
	Ambiental	Los mismos residuos se transforman en fuente de energía para mantener el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de compuestos indeseados como dioxinas.</li> <li>• Emisión de material particulado.</li> <li>• Las cenizas que genera tienen características potenciales de residuos peligrosos.</li> </ul>		
	Financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de inversión en promedio: USD 1.002*año/t.</li> <li>• Costo de operación en promedio: USD 518*año/t.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de experiencias de factibilidad con RSU.</li> <li>• Altos contenidos de humedad aumentan los costos de operación.</li> </ul>		
<b>Degradación anaeróbica</b>	Técnico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren que los residuos que entren tengan una humedad &gt;75 %.</li> <li>• Está tecnología no genera ningún tipo de rechazo que requiera de un tratamiento alternativo o disposición final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La lignina puede persistir por muchos períodos prolongados de tiempo para degradar.</li> <li>• Se requiere de tratamiento alternativo o disposición final del 100 % de residuos</li> </ul>	Biogás y digestato	Electricidad, fertilizante rico en nitrógeno Agrícola y

<sup>43</sup> GAIA. Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos. [en línea].2017, p. 9. Disponible en Internet <<http://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Gasificaci%C3%B3n-y-pir%C3%B3lisis-2017-ESP-1.pdf>>

<sup>44</sup> FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR. Estrategias para la gestión sostenible de los residuos en el horizonte 2020: Estudio de bases 5. Análisis de las tecnologías emergentes de valorización energética [en línea]. Madrid, 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <[http://economiecirculaire.org/DOCUMENTACION/Publicaciones/Multiparticipantes/20141117\\_Estrategias%20Horizonte%202020\\_Estudio%20de%20Base%205.pdf](http://economiecirculaire.org/DOCUMENTACION/Publicaciones/Multiparticipantes/20141117_Estrategias%20Horizonte%202020_Estudio%20de%20Base%205.pdf)>

Tecnologías	Criterios	Beneficios	Limitaciones	Producto primario	Aplicación
		<p>fuera del proceso de la misma tecnología.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El mantenimiento del biodigestor es cada 10 años.</li> <li>• Puede tratar los RSOU, lodos de aguas residuales e industriales, residuos orgánicos agrícolas y pecuarios.</li> </ul>	<p>inorgánicos que no pueden ser procesados por esta tecnología.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una supervisión continua y precisa.</li> <li>• El proceso es sensible a la temperatura, pH, velocidad de carga y cambio del tipo de carga.</li> </ul>		biorefinería de alimentos
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La combustión de metano produce solo agua y dióxido de carbono, no genera gases tóxicos.</li> <li>• Produce como residuo abono, rico en nutrientes y libre de microorganismos patógenos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El metano (CH<sub>4</sub>) es explosivo al mezclarse con aire en una proporción que va del 5 % al 15 %.</li> </ul>		
	Financiero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 KWh/t – 400 KWh/t.</li> <li>• Costo de inversión promedio: USD 170*año/t</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;270 t/día son necesarios para la factibilidad del proyecto.</li> <li>• La producción de los equipos solo es suministrada por otros países.</li> <li>• La potencia instalada mínima de una planta para un retorno de inversión aceptable es de 200 KW/h.</li> </ul>		

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 2.3.2 Incentivos y barreras para la implementación de tecnologías WTE

**Tabla 10** Incentivos para la implementación de tecnologías WTE

Incentivos para implementación de tecnologías <i>Waste to Energy</i> (WTE)	
Regulatorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impuesto por disposición en rellenos sanitario: desincentivo para la disposición final en rellenos sanitarios y aumento en los estándares de calidad de los rellenos<sup>45</sup>.</li> <li>• Contenido máximo de materia orgánica en los residuos a disponer: todo aquel residuo con un porcentaje de materia orgánica igual o mayor al contenido en la regulación, no podrá ser dispuesto en un relleno sanitario<sup>46</sup>.</li> <li>• Regulación de los residuos permitidos para disponer en los rellenos sanitarios<sup>47</sup>.</li> <li>• Metas en materia de reciclaje y de energía impulsan la incorporación de WTE a la gestión de residuos sólidos<sup>48</sup>.</li> </ul>
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el caso de degradación aerobia, siempre se respeta la jerarquía de residuos<sup>49</sup>.</li> <li>• Reducción de impactos ambientales: reduce el impacto<sup>50</sup> ambiental de los residuos por disposición en rellenos sanitarios.</li> <li>• Mitigación al cambio climático: reducción mínima del potencial de calentamiento global por unidad de <math>MWh_e</math> generado del 43,2 % y máxima de 70,2 %, con respecto al tratamiento por disposición final en relleno sanitario<sup>51</sup>.</li> </ul>
Recursos físicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área: para tratar la misma cantidad de residuos por relleno sanitario que por WTE, se requiere menor disponibilidad de área en proyectos WTE<sup>52</sup>.</li> </ul>
Económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Economía naranja: alargue de vida útil de los residuos<sup>53</sup>.</li> </ul>
Energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificación de la matriz energética.</li> <li>• Reducción de la dependencia a combustibles fósiles.</li> <li>• Aumento de la participación de energía limpia en la matriz energética.</li> </ul>

**Fuente:** INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>45</sup> EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Municipal waste management in Norway [en línea]. Noruega, 2013, p. 11 [citado en 2018-10-15]. Disponible en internet: <<https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/norway-municipal-waste-management/view>>

<sup>46</sup> *Ibid.*

<sup>47</sup> EUROPEAN UNION, SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME y COOLSWEEP. Drivers for waste-to-energy in Europe [en línea]. Dinamarca [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://www.cleancluster.dk/wp-content/uploads/2017/06/59410ce0595ca.pdf>>

<sup>48</sup> *Ibid.*

<sup>49</sup> MALINAUSKAITE, J. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* [en línea]. Vol. 141 (2017) [citado en 2018-10-08]. Disponible en Internet en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217319862>>

<sup>50</sup> *Ibid.*

<sup>51</sup> *Ibid.*

<sup>52</sup> KUMAR, Atul. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. En: *Waste Management*. Vol. 69 (noviembre, 2017), pp. 407-422.

<sup>53</sup> MALINAUSKAITE, J. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy*. *Óp. cit.*

**Tabla 11** Barreras para la implementación de tecnología WTE

Barreras para implementación de tecnologías <i>Waste to Energy</i> (WTE)	
Regulatorios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condiciones variantes a largo plazo: necesidad de estabilidad y seguridad con respecto a la cantidad y calidad de residuos sólidos a recibir.</li> <li>• Política de separación de residuos generados no eficiente: falta de separación en la fuente y reciclaje.</li> <li>• Jerarquía en el uso de residuos: el orden en los usos de los recursos no siempre es respetado por estas tecnologías<sup>54</sup>.</li> </ul>
Ambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo elevado de agua: procesos de separación y limpieza de materiales reciclables demandan altos volúmenes de agua,</li> </ul>
Recursos físicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carencia de infraestructura para transportar y comercializar calor: reducción de la eficiencia del proceso al limitarse únicamente a la venta de energía.</li> <li>• Cercanía de la planta WTE al relleno</li> </ul>
Económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifas de disposición final del mercado colombiano no competentes para este tipo de tecnología.</li> <li>• Intereses económicos y políticos para la no implementación de estas tecnologías en Colombia.</li> <li>• Competencia entre tecnologías verdes: en caso de que existan otras opciones de energía renovable en el país (eólica, solar, entre otras) y estas sean más costo efectivas, la implementación de WTE será menor<sup>55</sup>.</li> <li>• Costos de operación por inadecuado estado de residuos: una separación posterior a la de la fuente, implica un aumento en los costos de operación.</li> </ul>
Energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia energética alterada por eficiencia en la separación de residuos: la eficiencia de generación de energía depende del grado de separación de residuos.</li> </ul>
Técnicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Claridad en la normativa: trámites y procedimientos no asimilados o conocidos por los operadores de la red eléctrica.</li> <li>• Falta de conocimiento y escepticismo de estas tecnologías.</li> <li>• Caracterización y pureza del residuo: información necesaria para la determinación del poder calorífico y del potencial de generación de energía<sup>56</sup>.</li> </ul>

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

## 2.4 La valorización energética de los residuos en el mundo

Actualmente, se ha desarrollado exponencialmente la valorización energética de los residuos en el mundo, debido a que existen políticas en pro del cambio climático para el desarrollo del campo de residuos a energía. Además, una tendencia importante en la regulación de la gestión de los residuos ha sido hacer más prevención, reutilización y reciclaje, con el fin de promover una economía más eficiente en el uso de recursos y circular.

La política ambiental de los residuos en Europa se ha presentado como un enfoque principalmente en la recuperación de los recursos, por tanto, este sector es altamente regulado e influenciado por la legislación de cada país, con la que se busca impulsar la gestión de los residuos como producto para la valorización energética en términos de sostenibilidad,

<sup>54</sup> *Ibid.*

<sup>55</sup> EUROPEAN UNION, SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME y COOLSWEET. Drivers for waste-to-energy in Europe. *Óp. cit.*

<sup>56</sup> TONG, Huanhuan, *et. al.* Harvest Green energy through energy recovery from waste: A technology review and an assessment of Singapore. *En: Renewable and Sustainable energy Reviews*. Vol. 98 (diciembre, 2018), pp. 163-178.

competitividad y seguridad de suministro. Asimismo, se ha guiado por los «Programas de acción de medio ambiente» que buscan analizar cómo estos temas están interrelacionados y cómo pueden generar múltiples beneficios no solo para el medio ambiente, sino también para la economía y la sociedad.

Otro de los factores que hacen que los países europeos estén más desarrollados en el campo de la gestión y aprovechamiento de los residuos es la existencia de directivas que abordan temas de operaciones específicas de los residuos como los vertederos a cielo abierto e incineración. Su objetivo es tener un control permanente en la desviación de los residuos municipales biodegradables de los vertederos a cielo abierto a métodos más sostenibles de gestión.

Adicionalmente, los incentivos para invertir en tecnologías para la biomasa son otro factor que se rige adecuadamente, pues cada estado reporta los tratamientos realizados a los residuos sólidos urbanos según las operaciones generales de tratamiento: material reciclado, recuperación de energía, compostaje, incineración, y eliminación a vertederos. Aproximadamente, el 40 % de los RSU generados es utilizado para recuperación de materiales y abono, y el 20 % se utiliza para la generación de energía. Además, reciclan entre el 30 % y 60 % de sus residuos con la intención de alcanzar los cumplimientos de las políticas de aprovechamiento de residuos, en los que se establece en 5 pasos el manejo de los residuos: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, recuperación y eliminación<sup>57</sup>.

## 2.4.1 Experiencias nacionales

### 2.4.1.1 Incineración

En Colombia, la tecnología se ha implementado por medio de empresas dedicadas a aprovechar los residuos provenientes de sectores industriales hospitalarios y de hidrocarburos. A continuación, se presentan dos empresas, TECNIAMSA (Tecnologías Ambientales de Colombia) y SAE (Servicios Ambientales Especiales S. A. E. S. P.), las cuales han incorporados procesos de incineración a su gestión de residuos sólidos.

Por un lado, TECNIAMSA (Tecnologías Ambientales de Colombia) es una empresa dedicada en gran parte al desarrollo y adquisición de tecnología para el aprovechamiento de algunos de los residuos que llegan a sus diferentes parques ambientales en el país y que representan un insumo por su valor energético o son útiles para diferentes procesos industriales. La empresa puso en operación una nueva planta de incineración en el parque tecnológico ambiental de la sabana

---

<sup>57</sup> EUROPEAN UNION, SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME y COOLSWEEP. Drivers for waste-to-energy in Europe [en línea]. Dinamarca [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://www.cleancluster.dk/wp-content/uploads/2017/06/59410ce0595ca.pdf>>

ubicada en Mosquera, con capacidad para incinerar una tonelada de residuos por hora, lo que representa una eficiencia en la disposición final de los desechos. Actualmente, la empresa tiene plantas en Mosquera, Barranquilla, Manizales y Cúcuta<sup>58</sup>.

Por otro lado, SAE-Servicios Ambientales Especiales S. A. E. S. P. es una empresa de servicio especializado en recolección, transporte y tratamiento de incineración de residuos sólidos especiales, con características infecciosas y peligrosas, generados en hospitales e industrias. La planta de tratamiento térmico de incineración de la empresa cuenta con una capacidad 8,5 t/día, con sistemas de lavado y depuración de gases de última tecnología y procesos certificados por ICONTEC e IQ-net, en ISO: 14001-2004<sup>59</sup>.

#### 2.4.1.2 Pirólisis

En Colombia la tecnología de pirólisis se basa en parámetros obtenidos experimentalmente en equipos piloto, los cuales son válidos para condiciones y sistemas particulares. Por esto, se han propuesto modelos que describen el comportamiento del proceso y determinan la eficiencia energética de la biomasa residual. Gran parte de estos modelos combinan un modelo cinético con las ecuaciones de conservación de materia, momento y energía, lo que permite evaluar la influencia de parámetros de diseño y operación en el rendimiento del proceso. Sin embargo, estos modelos no son detallados, por lo cual esta tecnología requiere de más estudio<sup>60</sup>.

#### 2.4.1.3 Degradación anaeróbica

En los últimos años en Colombia, la RSE de algunos sectores, liderados por sus gremios, ha promovido la firma de acuerdos sectoriales con autoridades ambientales, en los cuales la digestión anaerobia toma lugares protagónicos, este es el caso de sectores como el: Porcícola, el Avícola y el de la Palma de Aceite. En estos sectores se pretende resolver la gestión de vertimientos aprovechando tanto la energía generada en el biodigestor como el efluente líquido que se maneja como un biofertilizante y/o adecuador de suelos en ciertas condiciones controladas. Igualmente, el sector académico ha promovido la investigación sobre este tema, p. ej., Universidad Industrial de Santander (UIS), Universidad Nacional en sus diversas sedes, ICESI, Universidad de Antioquia, Universidad de las Américas, Atlántico, entre otras, han desarrollado

---

<sup>58</sup> TECNIAMSA. Transformar el manejo de residuos generados por clínicas y hospitales [en línea]. Bogotá, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.tecniamsa.com.co/actualizate/>>

<sup>59</sup> SAE. Planta de tratamiento térmico de residuos peligrosos hospitalarios e industriales hospitales [en línea]. Bogotá, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.saesa.com.co/>>

<sup>60</sup> CASTILLO M, Edgar. Potencial del proceso de pirólisis como alternativa para la valorización de los residuos. [en línea]. Vol. 13. Nro. 21. (2008.), pp. 18-23. [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <[https://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_v13\\_no21\\_2009\\_p18-23.pdf](https://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p18-23.pdf)>

proyectos a partir de diferentes biomásas para diferentes sectores para dar solución a los problemas puntuales del sector agropecuario en la región de influencia<sup>61</sup>.

En Colombia, en el sector rural el uso de biodigestores se ha venido desarrollando lentamente, dado el escaso apoyo institucional que se ha ofrecido a este tipo de proyectos. No obstante, la aplicación de esta tecnología en zonas andinas y algunas demostraciones domésticas han fomentado el crecimiento del sector en los últimos años, aunque no se dispone de un registro completo de las pequeñas instalaciones disponibles en lo rural, debido, principalmente, a que la mayor parte de las mismas son consecuencia de la iniciativa de los usuarios, sin apoyo externo.

A mayor escala, se han reportado experiencias de proyectos en Colombia dentro de los MDL, por medio de empresas especializadas en el desarrollo de proyectos integrales de aprovechamiento de recursos renovables (biomasa, desechos orgánicos, aguas residuales, etc.) para la producción de biogás y la generación de energía eléctrica y calorífica. En estos proyectos se realizan estudios y diseños detallados para el suministro y construcción de plantas de biogás, biodigestores y plantas depuradoras de aguas residuales para la agroindustria (p. ej., BIOTEC, NOVATIO y RESEGGAS).

Un caso referente al tema es el proyecto desarrollado por Huevos Kikes, el cual consiste en la implementación de una planta de generación de energía en Caloto, Cauca, la cual requiere de 110 t/día de gallinaza para generar 800 KW. Para el funcionamiento total del proyecto se usarán cerca de 600 t que no requerirán de otros sustratos diferentes. La energía generada será usada para abastecer la planta de producción de huevo comercial Granja Egipto, que se encuentra en Caloto, además de la Granja Las Palmas<sup>62</sup>.

En la primera planta en mención se instalaron tres biodigestores: dos (2) de 0,8 MW y una (1) de 1 MW, para un total de 2,6 MW instalados. Mientras, en la planta de producción Las Palmas se implementaron dos digestores: uno de 1 MW y el otro de 0,8 MW, para un total de 1,8 MW, de los 4,4 MW que se obtendrán una vez se completen las fases de instalación. La energía que no sea usada para satisfacer la demanda interna de Huevos Kikes será entregada al SIN<sup>63</sup>.

Igualmente, se encuentra la industria del aceite de palma que se constituye una parte grande y lucrativa del segmento agroforestal de la economía colombiana, la cual se caracteriza por una

---

<sup>61</sup> UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento: informe final- CI 01. [en línea]. Bogotá D.C., 2017., pp. 1-22. [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>>

<sup>62</sup> En: Revita Accion. 2017. Huevos Kikes estrena producción de energía a partir de la gallinaza. [en línea]. 2017. [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <[https://www.ccc.org.co/categoria\\_articulo/huevos-kikes-estrena-produccion-energia-partir-la-gallinaza/](https://www.ccc.org.co/categoria_articulo/huevos-kikes-estrena-produccion-energia-partir-la-gallinaza/)>

<sup>63</sup> Huevos KIKES. Bionergía para la sostenibilidad. [en línea]. 2017. [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<https://www.huevoskikes.com/noticias/bioenergia-para-la-sostenibilidad>>

alta concentración de plantaciones de palma de aceite de tamaño mediano a grande. Colombia es el cuarto productor mundial de aceite de palma (1,4 % de la producción mundial), pues los ingresos del sector contribuyen con COP 1.890 mil millones a la economía, equivalentes al 6 % del PIB del sector agropecuario<sup>64</sup>. Según la FEDEPALMA, Colombia posee alrededor de 512.000 ha sembradas con aceite de palma, lo que equivale a 5.400.000 t de racimos de frutos secos, que se distribuyen entre 152 municipios y 21 departamentos. Así, p. ej., Casanare y Meta (o la Zona Oriental del país) tienen la mayor producción de aceite de palma (206.559 ha) con menor producción en las regiones de Antioquia, Atlántico, Bolívar, Cesar, Chocó, Córdoba, La Guajira, Magdalena y Sucre<sup>65</sup>.

En Colombia existen 65 plantas procesadoras de aceite de palma con una capacidad total de procesamiento de 1.524 t de fruta fresca en racimos/hora, adaptadas para el aprovechamiento del biogás y con potencial de generación de energía eléctrica de 119,3 M m<sup>3</sup> y 340 MW<sup>66</sup>. Sin embargo, solo 6 de estas plantas (p. ej., C. I. Tequendama y Manuelita Aceites) tienen un sistema de captura y mitigación de metano<sup>67</sup> con un potencial significativo para la recuperación y valorización del metano; mientras, otras 41 plantas (Oils S. A., Extractora Central, Extractora Sur del Casanare, Alianza del Humea, Palmas de Tumaco) generan electricidad a partir del vapor procesado de biomasa.

## 2.4.2 Experiencias internacionales

### 2.4.2.1 Incineración

La incineración es una de las tecnologías iniciales que tuvo un rápido desarrollo y un auge en la década de 1960. Originalmente fue diseñada para reducir el volumen de los residuos mediante la combustión, pero fue utilizado más adelante para recuperar energía (electricidad y calor).

En los EE. UU., algunas ciudades principalmente en el noreste y medio Atlántico, a medida que sus poblaciones aumentaban, recurrieron a los incineradores como una forma conveniente de eliminar los desechos. Generalmente, estas instalaciones de incineración se ubicaban dentro de los límites de la ciudad porque el transporte de basura a lugares distantes no era práctico. A fines de la década de 1930, se estimaba que 700 incineradores estaban en uso en todo el país. Este número disminuyó a alrededor de 265 en 1966, debido a problemas de emisiones al aire y otras limitaciones de la tecnología, y el aumento de la popularidad de los vertederos a cielo abierto.

---

<sup>64</sup> En: Dinero. REVISTA DINERO. Panorama desalentador para la palma africana [en línea]. Bogotá. 27 de mayo de 2015. [citado en 0218-10-12]. Disponible en Internet: <<https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/en-que-esta-palma-africana-2015/208957>>

<sup>65</sup> Biocombustibles 2016) (Portafolio 2015).

<sup>66</sup> FEDEPALMA. Informe de gestión. 2016. [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://web.fedepalma.org/media/InformeFedepalma.pdf>>

<sup>67</sup> *Ibid.*

En principios del siglo XX, algunas ciudades de EE. UU., comenzaron a generar electricidad o vapor a partir de la quema de desechos<sup>68</sup>.

En Europa se desarrollaron las tecnologías de conversión de residuos en energía más a fondo, en parte porque estos países tenían menos tierra disponible para los vertederos a cielo abierto. Los RSU para el sector energético están dominados por la tecnología de incineración con normas estrictas sobre las emisiones de las plantas. Además, alrededor del 12 % de los residuos peligrosos generados era incinerado (producción total cercana a 22.000.000 t/año). En la región europea se destaca la incineradora de la ciudad de Copenhague, la incineradora Amager Bakke (Amager Resource Centre, ARC), la cual abastece de electricidad y calefacción a parte de los hogares en la ciudad de Copenhague.

Los países industrializados, con densidades altas de población como en Japón, han empleado la incineración como un procedimiento alternativo, en el cual se estima que por cada tonelada de desechos tratada mediante incineración, el rendimiento oscila entre 250 KWh y 750 KWh. Así, en China se han desarrollado nuevas plantas de incineración basadas en la tecnología de CFB para recuperar la energía de sus desechos. Actualmente, hay 28 plantas CFB WTE en operación en la Nación, la mayor de las cuales se construyó en 2012 y procesa 800 t de residuos por día<sup>69</sup>.

Países del centro y norte de Europa, como Alemania, Austria, Dinamarca, Holanda, Suecia y Suiza, son los que más incineran y menos depositan en vertedero a cielo abierto. En todos estos países la incineración presenta una elevada aceptación social, no solamente como vía de obtener energía eléctrica, sino también como un excelente instrumento para reducir las emisiones de GEI. Suecia se ha propuesto para 2020 ser el primer país mundial en prescindir del petróleo para obtener energía, mediante la combustión de los residuos y la biomasa. En el caso de Alemania, este país cuenta con el sector WTE más eficiente de Europa, y tiene 81 plantas de incineración y un programa del Ministerio Federal de Ambiente que convierte en electricidad 5,255 TWh de los 31,731 TWh que genera<sup>70</sup>.

En 2011, Alemania representó la máxima producción de energía a partir de los RSU con un 29 % de la producción total de la Comunidad Europea, seguida de Francia (15 %), Italia y los Países

---

<sup>68</sup> STRINGFELLOW T, Thomas. An Independent Engineering Evaluation of Waste to-Energy. Renewable energy world. [en línea]. Plymouth enero, 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/01/an-independent-engineering-evaluation-of-waste-to-energy-technologies.html>>

<sup>69</sup> WORD ENERGY. World Energy Resources. [en línea]. Cap. 7. WASTE TO ENEGY. Londres, 2016, ed. 24 p. 9 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>>

<sup>70</sup> Greenpeace. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: Gasificación, pirólisis. [en línea],]. Argentina., 2008 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/8/riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf>>

Bajos (10 % cada uno). En la última década, todos los Estados miembros registraron aumentos de su producción energía a partir de la incineración de RSU.

Finalmente, en Cataluña, España, es la comunidad autónoma con más instalaciones (Mataró, Gerona y Tarragona) y con una capacidad de tratamiento aproximada de 680.000 t/año. En Madrid se encuentra la planta de TIRMADRID en Valdemingómez con tratamiento de 240.000 t/año. En Palma de Mallorca está ubicada la planta de TIRME, con una capacidad de 720.000 t/año. En Bilbao, la planta, gestionada por ZABALGARBI, con una capacidad de 230.000 t/año y Melilla incinera sus residuos en la planta de REMESA, de 40.000 t/año<sup>71</sup>. Por todo esto, en Europa se incineran con recuperación de energía más de 50.000.000 t de residuos en unas 420 plantas incineradoras que generan una cantidad de energía capaz de suministrar energía para 27 millones de personas.

#### 2.4.2.2 Pirólisis

Esta tecnología tiene muy diferentes estados de desarrollo (desde fase conceptual, pasando por estados de planta piloto o planta de demostración), y en muy pocas ocasiones se ha llegado a la fase comercial. En el ámbito internacional, las plantas de pirólisis se encuentran en mayor representación en Francia y Japón con capacidades entre 50.000 t/año a 100.000 t/año. Asimismo, empresas líderes en tecnología de aprovechamiento de residuos para producir energía y combustibles avanzadas han desarrollado el proceso de pirólisis. Desde 2007, en Swindon, Reino Unido, ADVANCED PLASMA POWER es la empresa administradora de una de las plantas de tratamiento de RSM más grandes del mundo con un sistema de pirólisis y capacidad para procesar 400 t/día<sup>72</sup>.

Por ello, se han presentado estudios experimentales y proyectos pilotos para la evaluación de la efectividad de la tecnología como alternativa para aprovechamiento de materiales residuales generados por las industrias y zonas urbanas. En Malasia existe una planta demostrativa de pirólisis de 2 t/h de materia prima y de racimos vacíos de palma de aceite que se incineraban. Esta planta fue creada desde 2005 por btg-btl, y fue la primera unidad comercial del mundo al aprovechar 50 t/día de racimos vacíos de palma de aceite en Malasia. El éxito obtenido en ese

---

<sup>71</sup> RODRIGO J, Javier, RODRIGO M Y, María y FERNÁNDEZ J, José. Alternativas de valorización y eliminación de RSU. Residuos Sólidos Urbanos [en línea]. España: Entornos Diseño y Percepción, S.L. España., 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo\\_Illarri\\_Javier/publication/267270678\\_Alternativas\\_de\\_valorizacion\\_y\\_eliminacion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_urbanos/links/54ad5dfd0cf2828b29fc6dae/Alternativas-de-valorizacion-y-eliminacion-de-residuos-solidos-urbanos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo_Illarri_Javier/publication/267270678_Alternativas_de_valorizacion_y_eliminacion_de_residuos_solidos_urbanos/links/54ad5dfd0cf2828b29fc6dae/Alternativas-de-valorizacion-y-eliminacion-de-residuos-solidos-urbanos.pdf)>

<sup>72</sup> ADVANCED PLASMA POWER [En línea]. 2018 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <https://advancedplasmawater.com/solutions/our-technology/>

país dio lugar a que se esté desarrollando una planta de pirólisis a mayor escala (5 t/h) en los Países Bajos con desechos de madera como materia prima<sup>73</sup>.

Así, en Europa la aplicación de la tecnología de pirólisis para conversión de biomasa en líquidos cuenta con dos plantas comerciales, una en Finlandia (Fortum) y otra en Holanda (Empyro) que son las primeras de su categoría. Además, en cuanto al aprovechamiento de los RSU, las siguientes empresas implementan la tecnología:

- ARTHELYSE. La planta se encuentra en Arras, en el norte de Francia, tiene una capacidad de 50.000 t/año y se encuentra en funcionamiento desde 2004. Comercializa el sólido carbonoso.
- Kraftwerk Hamm-Uentrop (Alemania). Se trata de la mayor línea de pirólisis de Europa y opera desde 2002, con una capacidad de 100.000 t/año de RSU
- El Proceso Thermoselect en Fondotoce es una firma suiza que ha desarrollado un proceso de tratamiento de residuos que combina la pirólisis con la gasificación a alta temperatura, este proceso fue utilizado en una planta piloto en Fondotoce (Italia) con capacidad de tratamiento para 100 t/día de residuos<sup>74</sup>.

#### 2.4.2.3 Degradación anaeróbica

En lo internacional, el aprovechamiento energético del biogás se inició en Nueva Zelanda e India, que fueron los primeros en construir biodigestores para la generación de gas. En la India, en 1999 había más de 3 millones de plantas de biogás de tamaño familiar y en 2007, el gobierno indio brindó apoyo financiero a programas de capacitación para la construcción de casi 4 millones de biodigestores domésticos. También se aplicó ampliamente en China, país reconocido como pionero en el uso del biogás. Este país desarrolló un programa que inició en la década de 1970 con un resultado de más de 7 millones de digestores<sup>75</sup>.

En Europa el proceso de biodegradación anaeróbica se ha presentado tanto en estudios experimentales y plantas demostrativas como en plantas de alto y bajo nivel urbano e industriales; así, el número de plantas de biogás entre 2009 y 2015 se incrementó de 6.000 a 17.000. Alemania es, actualmente, el líder en el despliegue de la tecnología en biogás, con un notable

<sup>73</sup> ZWEBE DAGMAR. Comercialización de la tecnología de pirólisis [en línea]. Vol. 31, Nro. Especial, Tomo II (2010). Disponible en internet: <<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1557/1557>>

<sup>74</sup> MILLÁN T. MILLÁN, Tania. Estudio de Factibilidad Técnica y Económica de una Planta de Pirolisis para la Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos. [En [en línea]], México., Universidad Autónoma Metropolitana, 2014. Trabajo de grado. Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <[http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyecINVES/Tec\\_Sust/Estudio-de-Factibilidad-TcnicaTecnica-y-Economica-de-una-Planta-de-Pirolisis.pdf](http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyecINVES/Tec_Sust/Estudio-de-Factibilidad-TcnicaTecnica-y-Economica-de-una-Planta-de-Pirolisis.pdf)>

<sup>75</sup> UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento: informe final- CI 01. Bogotá D.C. 2017. Óp. cit., pp. 1-22.

incremento de unidades de 370 en 1996 a 3.891 en 2008. Estas cifras fueron incrementándose entre 2009 y 2011, lo que generó más de 1,144 millones m<sup>3</sup>/año de biogás. Lo anterior, como resultado de la implementación del programa *Renewable Energy Sources Act*, lo que se derivó en una capacidad instalada de 3.586 MW equivalentes a 7.944 plantas de biogás en 2015. De este total, 85 plantas de biogás utilizan como insumo residuos urbanos exclusivamente.

Asimismo, la empresa alemana Aqualimpia Engineering e.K., especializada en el desarrollo de proyectos integrales de aprovechamiento de recursos renovables (biomasa, desechos orgánicos, aguas residuales, etc.) para la producción de biogás, generación de energía eléctrica y calorífica, ha realizado proyectos en los siguientes países: Venezuela, Ecuador, Nicaragua, El Salvador, Bolivia, Chile, Perú, Argentina, Guatemala, México, Cuba, Colombia, Costa Rica y Panamá<sup>76</sup>.

Italia es el segundo país con mayor número de plantas de biogás, el cual también introdujo cambios en su sistema de incentivos en 2013, con la misma finalidad de reducir los incentivos para el uso de cultivos energéticos y promover plantas de menor escala que utilizan bioresiduos como materia prima. En este país existe un consorcio de empresas llamado BIOGASMART, el cual comercializa componentes y equipos para tratamiento de biogases por medio de la biomasa residual, su objetivo es proporcionar al potencial cliente un completo portafolio de productos que satisfaga la necesidad de almacenamiento y manipulación a lo largo de la línea de biogás, desde la producción hasta el usuario final, para la producción de energía verde<sup>77</sup>.

En España se tiene un potencial de energía disponible de cerca de 20.000 GWh anuales de biogás. Una de sus plantas impulsadas por digestión anaeróbica transforma biogás procedente, sobre todo, de residuos orgánicos en una potencia de 5,7 MW de energía renovable y limpia destinada a abastecer a 140.000 hogares<sup>78</sup> y, junto con la producción de energía, genera también abono orgánico seguro, sin bacterias ni semillas.

En Latinoamérica, se han construido biodigestores en Colombia, Perú, Bolivia, México, Nicaragua, Costa Rica. Sin embargo, Brasil es el que más ha avanzado en la producción de Biogás y sus aplicaciones, tanto así que, en 2014, la ANEEL informa que la producción de electricidad a partir de biomasa correspondió al 8,75 % de la producción eléctrica brasileña, que corresponde a una capacidad instalada de 12.303 MW e incluye generación térmica con biomasa y con biogás. En ese mismo año, se instalaron 3 nuevas plantas de biogás para un total de 25 plantas de biogás conectadas a la red eléctrica; en este año, se presentó una reducción

---

<sup>76</sup> IDEA. GRAU, Armengol y FARRÉ, Oriol. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos: estudio técnico 2011-2020. Madrid, 2011. Óp. cit., pp. 21-36.

<sup>77</sup> BIOGASMART. [En línea]. 2018 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.biogasmart.com/>>

<sup>78</sup> NATURGY. Energía y medio ambiente. [En línea]. [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.fundacionnaturgy.org/blog/espana-tiene-potencial-para-producir-anualmente-20-000-gwh-de-energia-con-biogas-alrededor-del-65-del-consumo-de-gas-del-pais/>>

del 12 % en la generación con biogás atribuida a la curva de decaimiento del biogás de los vertederos. La mayoría de las plantas de biogás están ubicadas en propiedades agrícolas para procesar residuos y en rellenos sanitarios<sup>79</sup>.

## 2.5 Marco regulatorio de la gestión de los residuos en Colombia y el mundo

### 2.5.1 Colombia

Aunque es escaso el desarrollo legal y reglamentario específicamente referido a la valorización energética de residuos en Colombia, y a diferencia de otros países no existe una norma que se ocupe expresamente de esta forma de generación de energía, existe ya una regulación en materia ambiental y de servicios públicos, en adición a otras normas que ameritan ser analizadas, que puede servir para el desarrollo de este tipo de proyectos.

#### 2.5.1.1 Marco jurídico ambiental

##### A Licenciamiento ambiental

La licencia ambiental, como instrumento de gestión y control de proyectos, obras o actividades que pueden generar deterioro grave al ambiente o a los recursos naturales renovables, encuentra sustento legal en la Ley 99 de 1993. Esta ley fue objeto de desarrollo reglamentario en el Decreto 2041 de 2014, que se incorpora al Decreto compilatorio 1076 de 2015, Único Reglamentario del sector ambiente. De acuerdo con esta ley y su reglamento, entre los proyectos a los que les resulta exigible la licencia ambiental, se encuentran los siguientes:

- (i) Competencia de la ANLA: proyectos de exploración y uso de fuentes de energía alternativa virtualmente contaminantes con capacidad instalada superior o igual cien (100) MW.
- (ii) Competencia de las Corporaciones Autónomas Regionales:
  - Proyectos de exploración y uso de fuentes de energía virtualmente contaminantes con capacidad instalada de igual o mayor a diez (10) MW y menor de cien (100) MW.
  - Construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20.000 t/año.
- (iii) Proyectos relacionados con la construcción y operación de instalaciones, cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos, residuos hospitalarios, RAEE y de residuos de pilas y/o acumuladores.

---

<sup>79</sup> UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento: informe final- CI 01. Bogotá D.C. 2017. *Óp. cit.*, pp. 1-22.

Sobre esta base, la licencia ambiental debe hacerse exigible para el desarrollo de proyectos de valorización energética por el solo hecho de tratarse del uso de fuentes de energía virtualmente contaminantes y que la autoridad ambiental competente podrá variar dependiendo de la capacidad de generación del proyecto. Aunque la norma exime de este requisito a los proyectos cuya capacidad instalada no supere los 10 MW, la licencia igualmente debe hacerse exigible en estos casos en consideración a que encuadran en el concepto de valorización de residuos.

La exigibilidad de la licencia ambiental conlleva la necesidad de elaborar un estudio de impacto ambiental con la información del proyecto, la evaluación de los impactos ambientales y las medidas de manejo que en cada caso correspondan, lo cual se somete a la evaluación y aprobación de la autoridad competente a través del otorgamiento de la licencia. Actualmente, no se han adoptado unos términos de referencia específicos para la elaboración de los estudios ambientales en proyectos con capacidad instalada inferior a 10 MW, por lo que deberán previamente solicitarse a la autoridad competente. Puede suceder que el proyecto de valorización energética se adelante como parte de otro proyecto que ya se encuentre bajo el amparo de una licencia ambiental, específicamente rellenos sanitarios que, igualmente, se sujetan al cumplimiento de este requisito. Es este caso, se tramitará la modificación de la licencia ambiental otorgada de acuerdo con el procedimiento establecido en la misma reglamentación.

## **B Emisiones atmosféricas**

Los proyectos de valorización energética generan emisiones atmosféricas a las que debe resultarles exigible un permiso otorgados por la autoridad ambiental competente. No obstante, en la medida en que el proyecto se encuentra sometido a licencia ambiental, esta llevará incorporado el permiso. El permiso de emisiones atmosféricas para fuentes fijas se encuentra regulado por el Decreto 948 de 1996, hoy también incorporado al Decreto 1076 de 2015 y que, entre los casos que requieren permiso, incluye expresamente la incineración de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

Como presupuesto para el otorgamiento del permiso, y una vez otorgado, se debe asegurar el cumplimiento de las normas de emisión establecidas en la Resolución 909 de 2008. Esta norma incluye, en sus artículos 18 y 19 (tablas 14 y 15), los estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes que utilicen biomasa como combustible a condiciones de referencia, con oxígeno de referencia del 13 %. Además, a partir del artículo 54 y en la tabla 33, se establecen los estándares y demás condiciones de emisión admisibles de contaminantes para instalaciones de incineración de residuos no peligrosos a condiciones de referencia con oxígeno de referencia del 11 %. La tabla 33 A contempla estándares adicionales de emisión admisibles de contaminantes al aire para equipos de combustión que realicen aprovechamiento energético de residuos y/o desechos no peligrosos a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia al 11 %. Estas normas exigen la realización de mediciones periódicas para asegurar el cumplimiento de los parámetros de emisión establecidos.

## **C Uso del agua y vertimientos**

Los procesos de valorización energética generalmente exigen el uso de cantidades significativas de agua que, en la medida en que sean captadas de una fuente pública, requerirán previamente de una concesión de aguas que será otorgada por la autoridad ambiental competente según el procedimiento y demás condiciones que establece el Decreto 1541 de 1978, igualmente incorporado al decreto único del Sector Ambiental. En estos casos el uso del agua deberá someterse al caudal y demás requisitos que se establezcan en la respectiva concesión.

De igual forma, se generan aguas residuales que en caso de ser vertidas deben someterse a permiso, trámite y otorgamiento se rige por las disposiciones del Decreto 3930 de 2010, y que también se ha incorporado al Decreto único del Sector Ambiente. Nuevamente, el permiso es el que define las condiciones que deberán cumplir las aguas residuales antes de ser vertidas, incluyendo los estándares de calidad que, de manera general, se definen en la Resolución 631 de 2015 del MADS. En caso que se encuentre viable la alternativa del reúso de las aguas residuales, se deberá también tener en cuenta lo dispuesto en la Resolución 1207 de 2014, también del MADS.

Finalmente, para el caso del uso del agua y la generación de aguas residuales es necesaria la realización de labores periódicas de monitoreo y el reporte a la autoridad ambiental sobre el cumplimiento de los estándares establecidos. Además, siempre que el proyecto se encuentre amparado por una licencia ambiental, los parámetros deberán entenderse incorporados dentro de la misma.

## **D Consideraciones adicionales en consideración al tipo de residuos por tratar**

Las normas ambientales aplicables a las actividades de tratamiento de residuos varían significativamente dependiendo del tipo de residuos de que se trate. Por regla general, este tratamiento corresponde a una actividad comprendida en la prestación del servicio público domiciliario de aseo y, como tal, se rige principalmente por las disposiciones de la Ley 142 de 1994, sobre Servicios Públicos Domiciliarios, y su desarrollo reglamentario en materia del servicio de aseo, principalmente contenido en el Decreto 2891 de 2013, hoy incorporado al Decreto 1077 de 2015, Único Reglamentario del Sector Vivienda. El contenido y alcance de estas normas serán analizados más adelante.

Ahora bien, el artículo 38 del Código de los Recursos Naturales Renovables sienta las bases para que algunos residuos, en consideración a su volumen o calidad, se sometan a condiciones especiales. En consideración a lo anterior, si se pretendiera realizar la valorización energética a partir de residuos peligrosos, se deberían tener en cuenta otras las normas y el componente

ambiental adquiriría mayor relevancia. Entre los aspectos por considerar, en este caso, están los siguientes:

- Será otro el fundamento a partir del cual se hará exigible la licencia ambiental, en consideración a que el reglamento establece de manera expresa la exigibilidad de la licencia para la construcción y operación de instalaciones, cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos, y la construcción y operación de rellenos de seguridad para residuos hospitalarios en los casos en que la normativa sobre la materia lo permita.
- Aplicarán las disposiciones del Decreto 4741 de 2005, incorporadas al Decreto 1076 de 2015, de manera particular las referidas a las obligaciones del gestor o receptor de residuos peligrosos que se establecen en el artículo 2.2.6.1.3.7 y el régimen de responsabilidad que se deriva de los artículos 2.2.6.1.3.8 y 2.2.6.1.3.9 de la norma compilatoria.
- Aplicarán unos estándares de emisión atmosférica específicos y definidos a partir del artículo 41 de la Resolución 909 de 2008.

Esencialmente, se parte de la base de que la valorización energética se va a realizar a partir de residuos ordinarios, en la medida en que la gestión de residuos peligrosos correspondería a otro modelo de negocio en el que una eventual valorización energética sería marginal.

### **2.5.1.2 Marco jurídico aplicable en relación con la prestación de servicios públicos domiciliarios**

A la valorización energética de residuos le aplican las normas sobre servicios públicos domiciliarios por partida doble. Por una parte, el tratamiento, el aprovechamiento y la disposición final de residuos corresponden a actividades que forman parte del servicio público domiciliario de aseo<sup>80</sup> y, por la otra, la generación, interconexión y transmisión de energética se encuentran comprendidas en el servicio domiciliario de energía<sup>81</sup>. En esta medida, ambas actividades se someten al régimen legal establecido en la Ley 142 de 1994 o Ley de Servicios Públicos Domiciliarios de la que, entre otras cosas, se deriva lo siguiente:

- Corresponden a actividades para la que se encuentra constitucional y legalmente prevista la intervención del Estado, en los términos y condiciones que establecen los artículos 2.º y 3.º

---

<sup>80</sup> De acuerdo con las definiciones contenidas en el artículo 14 de la Ley 142 de 1994, el servicio público domiciliario de aseo es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos. Igualmente incluye, entre otras, las actividades complementarias de corte de césped y poda de árboles ubicados en las vías y áreas públicas; de lavado de estas áreas, transferencia, tratamiento y aprovechamiento.

<sup>81</sup> De acuerdo con las definiciones contenidas en el artículo 14 de la Ley 142 de 1994, el servicio público domiciliario de energía es el transporte de energía eléctrica desde las redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida su conexión y medición. También se aplicará esta Ley a las actividades complementarias de generación, de comercialización, de transformación, interconexión y transmisión.

de la Ley. Entre otras responsabilidades que por este hecho se derivan para el Estado, está la de promoción y el apoyo a las personas que presten los servicios públicos.

- El desarrollo de esta actividad se rige por los principios de libre competencia y libertad de empresa, salvo que por razones de interés público y cobertura se requiera lo contrario.
- No obstante, lo mencionado en el punto anterior, el artículo 40 de la Ley 142 de 1994 prevé la posibilidad de que la entidad o entidades territoriales competentes puedan establecer, mediante invitación pública, áreas de servicio exclusivas, en las cuales se puede acordar que ninguna otra empresa de servicios públicos ofrezca los mismos servicios en la misma área durante un tiempo determinado. Esta decisión deberá estar debidamente justificada por motivos de interés social y con el propósito de que la cobertura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, saneamiento ambiental, distribución domiciliaria de gas combustible por red y distribución domiciliaria de energía eléctrica se pueda extender a las personas de menores ingresos.
- En principio, y salvo las excepciones que la misma ley establece, quien desarrolla estas actividades debe estar constituido como una empresa de servicios públicos domiciliarios sometida al régimen establecido en el artículo 19 y a un régimen tributario especial establecido en el artículo 24 de la mencionada ley. Todas las personas están facultadas para hacer inversiones en estas empresas.
- Se prevé expresamente la posibilidad de que la Nación, las entidades territoriales y las entidades descentralizadas de cualquier nivel administrativo participen a cualquier título en el capital de las empresas de servicios públicos, de acuerdo con las reglas especiales que establece el artículo 27 de la ley.
- Se rigen por las reglas del derecho privado, salvo las excepciones que establezcan la constitución y la ley.
- Se someten a la inspección, la vigilancia y el control de la SSPD y a las directrices de las Comisiones de Regulación de Servicios Públicos Domiciliarios.
- Las tarifas se someten a un régimen de regulación, el cual podrá incluir las modalidades de libertad regulada y libertad vigilada, o un régimen de libertad, de acuerdo con las reglas que establece el artículo 88 de la Ley 142 de 1993.

## **A Regulaciones aplicables al servicio de energía**

Como complemento de la Ley 142 de 1993, fue expedida la Ley 143 del mismo año, «por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética». En cuanto a la generación de energía, la Ley 143 de 1994 incluye las siguientes disposiciones:

- El artículo 24 establece que la construcción de plantas generadoras, con sus respectivas líneas de conexión a las redes de interconexión y transmisión, está permitida a todos los

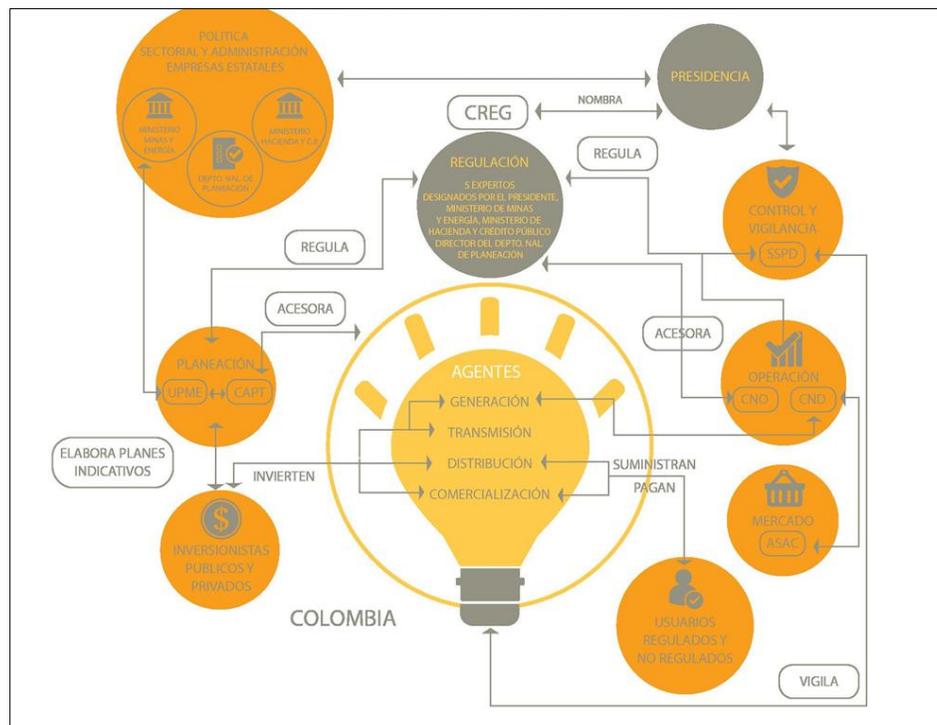
agentes económicos. Este incluye un párrafo en el que se advierte que para los proyectos de generación de propósito múltiple, de los cuales se deriven beneficios para otros sectores de la economía, el Gobierno nacional establecerá mecanismos para que estos sectores contribuyan a la financiación del proyecto en la medida de los beneficios obtenidos.

- El artículo 25 está referido al Reglamento de Operación del sistema interconectado, que deberán cumplir los agentes económicos privados o públicos que quieran hacer parte de este sistema.

Por otro lado, el desarrollo reglamentario de las normas legales que regulan el servicio público domiciliario de energía se encuentra compilado en el Decreto Único Reglamentario del Sector Minas y Energía, adoptado a través del Decreto 3087 de 2007.

En la figura 8 se presenta el esquema institucional del mercado eléctrico del cual son sometidos a cumplimiento las actividades de generación de energía.

**Figura 8** Esquema institucional del mercado eléctrico



**Fuente:** ACOLGEN<sup>82</sup>. Adaptado por Consultoría Colombia, 2018.

Quienes pretendan participar del mercado como generadores pueden ofrecer la energía generada libremente y por el precio convenido a través del mercado no regulado, que

<sup>82</sup> ACOLGEN. Cómo funciona el mercado [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://www.acolgen.org.co/index.php/sectores-de-generacion/como-funciona-el-mercado>>

corresponde a usuarios cuya demanda de energía sea igual o superior a los 55 MWh/mes. O, podrán hacerlo a través del mercado regulado, aplicable a todos los demás usuarios y en el que las tarifas están sometidas a regulación por parte de la CREG. De acuerdo con las reglas definidas para el mercado regulado, los comercializadores compran la energía a los generadores, generalmente, mediante contratos a largo plazo, en los que el precio de la energía que se provee es previamente acordado, o a través de su participación en la Bolsa de Energía.

## **B Regulaciones aplicables a la valorización energética como fuente alternativa de energía**

Al entender que la valorización energética corresponde a una FNCER, el régimen legal que se deriva de las Leyes 142 y 143 de 1994 debe, para el caso concreto, entenderse complementado por las disposiciones de las Leyes 697 de 2001, «mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones» y la Ley 1715 de 2014, «por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional».

La primera de estas leyes crea el PROURE, a cargo del MME, al tiempo que establece como una responsabilidad de este mismo ministerio la formulación de lineamientos de política, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las FNCE, con prelación en las zonas no interconectadas. Mientras, la segunda ley regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Por lo tanto, entre sus objetivos está el de estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de FNCE, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen desarrollo de tales fuentes en Colombia.

Entre otros conceptos, la Ley 1715 incluye una definición de energía de biomasa, entendida como aquella que es obtenida a partir de aquella FNCER que se basa en la degradación espontánea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica, y que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico, y toda materia vegetal producida por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o hayan estado en contacto con trazas de elementos que confieren algún grado de peligrosidad. La ley también crea el FENOGÉ para financiar programas de FNCE y gestión eficiente de la energía, con aportes de la Nación, entidades públicas o privadas, así como por organismos de carácter multilateral e internacional. De igual forma, se prevén incentivos tributarios de reducción de renta y de exclusión de IVA e incentivos arancelarios y contables, para proyectos de desarrollo de FNCE. Igualmente, esta incluye un artículo 18, específicamente referido a lo que denomina energía de residuos, en los siguientes términos:

#### ARTÍCULO 18. ENERGÍA DE RESIDUOS.

1. Será considerado como FNCER el contenido energético de los residuos sólidos que no sean susceptibles de reutilización y reciclaje.
2. Será considerado como FNCER el contenido energético tanto de la fracción biodegradable, como de la fracción de combustible de los residuos de biomasa.
3. Será considerado como fracción combustible de los residuos aquella que se oxide sin aporte de energía una vez que el proceso de combustión se ha iniciado.
4. Se faculta al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en colaboración con las Corporaciones Autónomas para fijar los objetivos de valorización energética para algunas tipologías concretas de residuos de interés energético a partir de criterios ambientales de la gestión de residuos, de sostenibilidad ambiental y económica. Para ello, establecerá reglamentariamente un mecanismo que indicará los sujetos obligados e incluirá un sistema que permita la supervisión y certificación, así como un régimen de pagos compensatorios.
5. Se faculta al Ministerio de Minas y Energía para reglamentar normas técnicas que definan los parámetros de calidad que han de cumplir los combustibles sólidos recuperados obtenidos a partir de diferentes residuos. Además, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio desarrollarán las estrategias conjuntas para que los combustibles sólidos recuperados que alcancen los parámetros que en dichas normas se consideren necesarios, sean destinados a la valorización energética. Dichas normas técnicas, serán definidas teniendo en cuenta las directrices comunitarias e incluirán, entre otros aspectos, categorías, calidades y ámbitos de aplicabilidad, así como sistemas que permitan el control de calidad o certificación de tales combustibles.

Del desarrollo reglamentario de estas normas, conviene resaltar el Decreto 570 de 2018, que se incorpora al Decreto Único Reglamentario del Sector Minero-energético, y a través del cual se establecen los lineamientos de política pública para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación a largo plazo para los proyectos de generación de energía eléctrica y que sea complementario a los mecanismos existentes en el Mercado de Energía Mayorista. Esta reglamentación busca brindar unas mejores condiciones de mercado para los generadores de fuentes alternativas de energía, de acuerdo con el desarrollo que corresponde adoptar a la UPME y a la CREG.

#### **C Regulaciones específicamente relacionadas con el servicio de aseo**

El tratamiento de residuos ordinarios forma parte del servicio público domiciliario de aseo y, como tal, de las actividades de saneamiento básico entendidas como una responsabilidad a cargo del Estado. Se rige principalmente por las disposiciones del Decreto 2981 de 2013, por el cual se reglamenta la Ley de Servicios Públicos Domiciliarios en relación con el servicio público domiciliario de aseo, modificado en materia de aprovechamiento de residuos por el Decreto 596 de 2016, ambos actualmente incorporados al Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

Estas disposiciones establecen los planes para la PGIRS, cuya elaboración, implementación y actualización compete a los municipios y distritos, y como parte del cual se debe considerar y dar

prioridad al desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos para su incorporación en el ciclo productivo, con viabilidad social, económica y financiera, para garantizar su sostenibilidad en el tiempo, y permita su evaluación a través del establecimiento de metas. En este sentido, el artículo 2.3.2.2.3.91 del Decreto 1077 de 2015, que incorpora el artículo 92 del Decreto 2981 de 2013, establece los factores que deben ser considerados por los municipios o distritos para efectos de determinar la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de residuos.

Por su parte, el Decreto 596 de 2016 adicionó el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, pero se trata de una norma más enfocada a la actividad de reciclaje, antes que a los procesos de valorización energética. El artículo 2.3.2.2.2.8.85 establece que los municipios o distritos como responsables de asegurar la prestación del servicio público de aseo, y las personas prestadoras del servicio y/o los recicladores de oficio debidamente formalizados pueden optar por establecer sistemas de aprovechamiento de residuos de carácter regional incorporando la gestión de residuos aprovechables provenientes de varios municipios.

En concordancia con lo anterior, a partir del artículo 2.3.2.2.3.87 se regulan los PGIRS, como una responsabilidad de los distritos y municipios, y a través de los cuales se establecen lineamientos estratégicos para la gestión de residuos y desechos en su jurisdicción. El aprovechamiento de los residuos se constituye en un componente esencial de los PGIRS y así lo evidencia el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, que consagra que estos planes deben constituirse en el punto de partida para el desarrollo de programas de aprovechamiento y su incorporación en los planes de desarrollo del nivel municipal y/o distrital con la asignación de los recursos correspondientes. Sobre esta base, es obligación de los municipios y distritos la realización de estudios de factibilidad en materia de aprovechamiento y la determinación de viabilidad de los proyectos, que atendían a consideraciones de orden social, económico, técnico, operativo, financiero y comercial, así como los beneficios ambientales y demás ventajas. Para ello, el artículo 2.3.2.2.3.91 se refiere a los siguientes factores que deben ser considerados como parte de este análisis:

1. Realización de un análisis de mercado en el cual se evalué como mínimo la oferta, la demanda, los precios históricos de compra y venta de materiales; identificación de los actores de la cadena de comercialización y transformación de material reciclable, que permita estimar la cantidad de residuos a ser incorporados en el ciclo productivo en un periodo determinado de tiempo.
2. Realización de la cuantificación y caracterización de los residuos para determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado.
3. Realización del predimensionamiento de la infraestructura y equipos necesarios, en lo posible considerando por lo menos dos (2) alternativas tecnológicas y administrativas, apropiadas a las condiciones socioeconómicas del municipio. Para el efecto se considerará

la cantidad y tipo de residuos que se gestionarán en el proyecto de aprovechamiento, teniendo en cuenta el tipo de producto que el proyecto ofrecerá en el mercado.

4. Comparación de alternativas a través de indicadores como beneficio/costo, empleos generados, costos de operación y mantenimiento, ingresos, entre otros.

5. Evaluación de la viabilidad financiera y comercial de la alternativa seleccionada, para lo cual deberá considerar los costos de inversión, operación, administración y mantenimiento. Así mismo, deberá incluir los ingresos por concepto de comercialización de materiales y de tarifas. El análisis deberá ser desarrollado para un periodo mínimo de diez años, incorporando indicadores financieros como B/C, VPN y TIR. La viabilidad del proyecto se considera positiva en condiciones de indiferencia de estos indicadores.

6. En el marco de los PGIRS, el municipio deberá considerar la articulación del proyecto de aprovechamiento de residuos con los demás componentes del servicio público de aseo como la presentación de los residuos separados en la fuente, recolección y transporte selectivo, sensibilización y capacitación en separación en la fuente.

7. Sensibilización, educación y capacitación a los usuarios del servicio público, funcionarios de la administración municipal, empleados de las empresas prestadoras del servicio público de aseo, en temas de competencia de cada grupo objetivo, que garantice la articulación del esquema de aprovechamiento en el ente territorial.

8. El sitio donde se instalará la infraestructura debe ser compatible con los usos del suelo definidos en las normas de ordenamiento territorial vigentes.

9. El proyecto debe contar con los permisos, concesiones y autorizaciones a que haya lugar, según lo establecido en la normativa vigente.

10. Estructurar las estrategias para la vinculación de los recicladores de oficio cuando sea del caso.

A pesar del énfasis que la reglamentación sobre el servicio de aseo pretende dar a los temas de aprovechamiento, la mayor parte de las regulaciones asociadas con la gestión y manejo final de los residuos se concentran en los proyectos de disposición final a través de rellenos sanitarios. En este sentido, son estas regulaciones las que podrían brindar pautas y criterios interpretativos sobre los requisitos y demás condiciones que podrían aplicar en el desarrollo de un proyecto de valorización energética como alternativa para la gestión de residuos. Entre otras disposiciones contenidas en el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda en relación con estas materias, conviene mencionar las siguientes:

- A partir del artículo 2.3.2.3.2.2.3 se define el procedimiento, los criterios, la metodología, las prohibiciones y las restricciones para la localización de áreas para la disposición final de residuos sólidos. Todas estas condiciones no necesariamente habrán de hacerse extensivas a los proyectos de valorización energética, por lo que cada una de ellas ameritará un análisis particular.
- El artículo 2.3.2.3.3.1.6 se refiere al proceso de planificación del servicio público de aseo en la actividad complementaria de disposición final de residuos sólidos, señalando que el mismo se realizará con base en los siguientes instrumentos:
  - PGIRS.
  - Planes de Ordenamiento Territorial.
  - Licencia Ambiental
  - RAS.

- Reglamento Operativo

Este proceso de planificación debería resultar igualmente extensivo al desarrollo de proyectos de valorización energética.

- El artículo 2.3.2.3.5.15 prevé un fomento hacia el enfoque ámbito regional y la gestión conjunta con otros municipios y distritos para el desarrollo de los sistemas de disposición final de residuos sólidos, siempre que las condiciones ambientales, topográficas, viales y distancias lo permitan. Para estos casos y a partir del artículo 2.3.2.4.1 se reglamenta la forma en que el prestador del componente de disposición final debe calcular el valor del incentivo a reconocer al municipio donde se ubiquen dichas infraestructuras.

En el marco de la regionalización, adquieren también importancia los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento que regula el Decreto Único Reglamentario del sector vivienda a partir del artículo 2.3.3.1.2.3 como un conjunto de estrategias de planeación y coordinación interinstitucional formuladas y ejecutadas con el objeto de lograr la armonización integral de los recursos y la implementación de esquemas eficientes y sostenibles en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico. La misma norma establece las condiciones para participar en estos planes y acceder a recursos por esta vía para el desarrollo de proyectos.

Igualmente, se advierte que, a través de la Resolución 330 de 2017 del MVCT, se adoptó el RAS y, a además mediante:

- Los artículos 221 y 222, regula lo relacionado con los aspectos de diseño en sistemas con aprovechamiento de residuos y localización, diseño de estaciones de transferencia y plantas de aprovechamiento.
- El artículo 243, establece los permisos, licencias y otras autorizaciones ambientales.
- El artículo 244, determina los permisos, licencias y otras autorizaciones de construcción (legalización de predios, la licencia urbanística de intervención del espacio público, los trámites ante las personas prestadoras de servicios públicos, los certificados de conformidad de servicios públicos y otras autorizaciones)
- El artículo 245, reglamenta las autorizaciones relacionadas con la gestión socioeconómica (presencia de grupos étnicos y manejo arqueológico).
- El artículo 246, las autorizaciones relacionadas con la salud pública (concesiones de agua para consumo humano, conceptos toxicológicos).
- El artículo 247, autorizaciones del sector de industria y comercio.

### 2.5.1.3 Uso del suelo

La relación entre el ordenamiento del territorio y la infraestructura para la prestación de servicios públicos domiciliarios es de doble vía. Por una parte, el artículo 10.º de la Ley 388 de 1997

establece como uno de los determinantes del ordenamiento el señalamiento y la localización de las infraestructuras básicas relativas al suministro de saneamiento y suministro de energía, así como las directrices de ordenamientos para sus áreas de influencia. Por otra parte, es claro que la viabilidad de proyectos de valorización energética de residuos está determinada por la compatibilidad de uso del área en donde pretenda desarrollarse, y según la forma de análisis de dichos residuos.

Así, la misma Ley 388 de 1997 establece a través de su artículo 8.º que entre las decisiones administrativas y las actuaciones urbanísticas comprendidas en la función pública de ordenamiento del territorio municipal o distrital están las dirigidas a localizar y señalar las características de la infraestructura para los servicios públicos domiciliarios, la disposición y el tratamiento de los residuos. En igual sentido, la Ley 142 de 1994 establece a través de su artículo 26 que en cada municipio, quienes presten servicios públicos estarán sujetos a las normas generales sobre la planeación urbana, la circulación y el tránsito, el uso del espacio público, y la seguridad y tranquilidad ciudadana y, por ende, las autoridades pueden exigirles garantías adecuadas a los riesgos que creen.

En consecuencia, la viabilidad del proyecto y la determinación del área donde se desarrollará estarán condicionadas por lo que establezcan las normas urbanísticas del respectivo distrito o municipio. No obstante, es importante advertir que conforme con lo que establece el artículo 2.2.6.1.1.11 del Decreto 1077 de 2015, no podrán exigirse licencias urbanísticas de construcción en ninguna de sus modalidades para el desarrollo de infraestructura y sistemas de saneamiento y suministro de energía, como tampoco para las edificaciones de carácter transitorio o provisional que sean inherentes a la construcción de este tipo de proyectos, de forma que solo las construcciones convencionales que se requieran estarán sometidas a este requisito.

Las áreas que las normas urbanísticas hayan afectado para la ejecución de obras para la prestación de servicios públicos están declaradas por la Ley 142 de 1993, en concordancia con el artículo 2.3.2.2.3.88 del Decreto 1077 de 2015, como de utilidad pública e interés social y podrán expropiarse en caso de hacerse necesario. También prevé la Ley 142 de 1994 la facultad de imponer servidumbres, hacer ocupaciones temporales y remover obstáculos, siempre que sea necesario para efectos de prestar los servicios públicos, sin perjuicio de la indemnización a que tienen derecho los propietarios de los predios afectados.

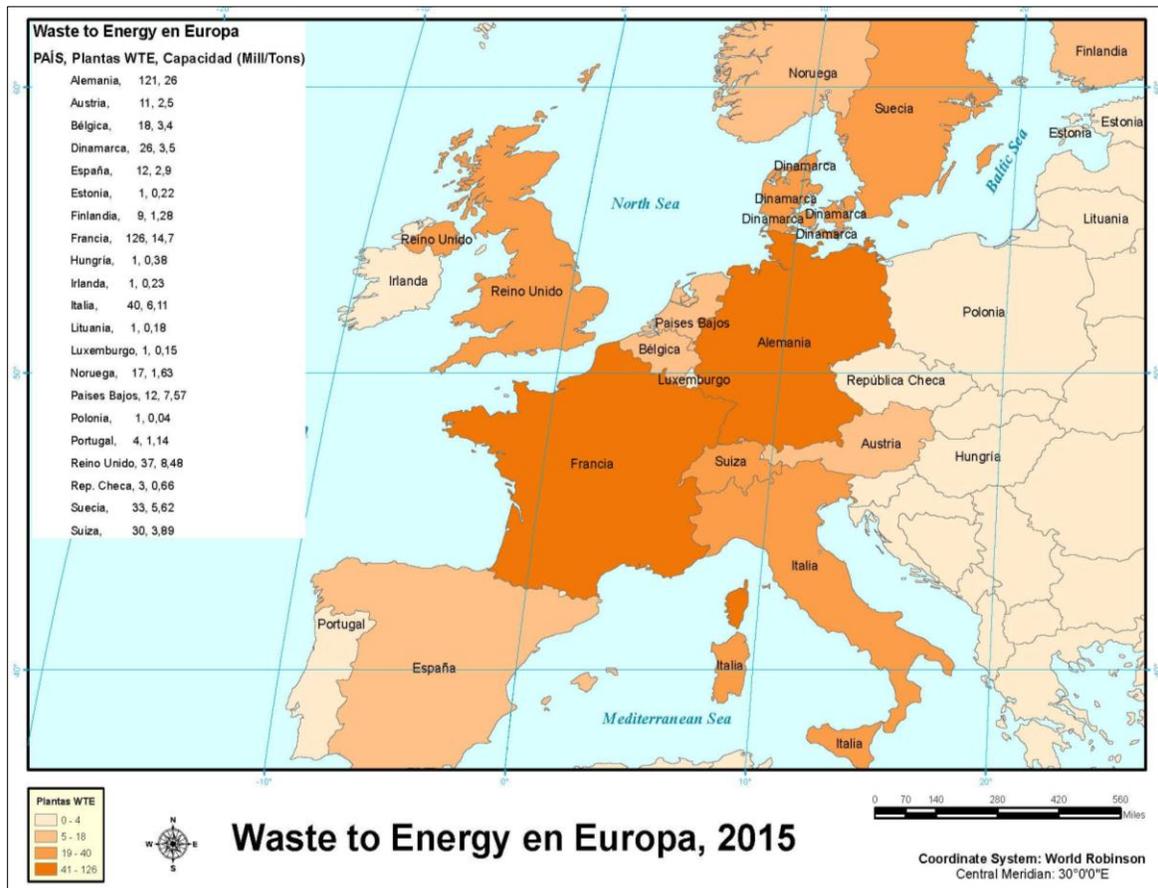
## 2.5.2 Unión Europea

Según cifras de la CEWEP<sup>83</sup>, para 2015, el inventario de plantas de valorización energética en Europa era el siguiente:

---

<sup>83</sup> CEWEP. Waste-to-Energy Plants in Europe in 2015 [en línea]. Alemania, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.cewep.eu/2017/09/07/waste-to-energy-plants-in-europe-in-2015/>>

Figura 9 Waste to Energy en Europa – 2015



Fuente: CEWEP<sup>84</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

La Comisión Europea<sup>85</sup> ha advertido que la transformación de residuos en energía puede desempeñar un papel útil y crear sinergias con la política climática y energética de la UE, siempre que esté guiada por los principios de la jerarquía de residuos. De esta forma, señala que examinará de qué manera puede optimizarse dicho papel, sin poner en peligro la consecución de mayores tasas de reutilización y reciclaje, y cómo podría explotarse mejor el potencial de energía correspondiente. A tal fin, la Comisión adoptará una iniciativa sobre la transformación de residuos en energía en el marco de la Unión de la Energía.

<sup>84</sup> *Ibid.*

<sup>85</sup> COMISIÓN EUROPEA. Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular [en línea]. Bruselas, 2015 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF)>

Así, en 2017, se emitió una comunicación sobre el papel de la conversión de residuos en el marco de la economía circular, que cubre los siguientes procesos principales de conversión de residuos en energía<sup>86</sup>:

- Coincineración de residuos en plantas de combustión (por ejemplo, centrales eléctricas) y en la producción de cemento y caliza;
- incineración de residuos en instalaciones especializadas;
- digestión anaeróbica de residuos biodegradables;
- producción de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos derivados de residuos, y
- otros procesos, incluida la incineración indirecta después de una fase de pirólisis o gasificación.

Entre las normas europeas más relevantes en relación con este tema, cabe destacar:

- La Directiva Europea 2008/98/CE de 19 de noviembre de 2008, proferida por el Parlamento sobre los residuos y en la que se incluye una definición de valorización energética<sup>87</sup>. También en esta norma se incluye una jerarquización de la gestión de residuos en cinco categorías, donde la generación de energía y otras formas de valorización aparece en cuarto lugar, precedida por la prevención, la reutilización y el reciclaje, pero antes de la eliminación segura como último recurso. Así mismo, la Directiva fija por primera vez los límites de eficiencia energética del 0,65 para instalaciones nuevas y 0,60 para instalaciones existentes, a partir de los que la incineración de residuos municipales se puede considerar como una operación de valorización energética.
- La Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000, actualizada por la Directiva 2010/75<sup>88</sup>, regula lo relacionado con la incineración de residuos y las emisiones industriales.

---

<sup>86</sup> COMISIÓN EUROPEA. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones. El papel de la transformación de los residuos en energía [en línea]. Bruselas, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/ES/COM-2017-34-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>>

<sup>87</sup> La «valorización» es cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general. Para la valorización energética, la utilización principal del residuo será como combustible u otro modo de producir energía. Se incluyen aquí las instalaciones de incineración destinadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos solo cuando su eficiencia energética resulte igual o superior a: • 0,60 tratándose de instalaciones en funcionamiento y autorizadas conforme con la legislación comunitaria aplicable desde antes del 1 de enero de 2009. • 0,65 tratándose de instalaciones autorizadas después del 31 de diciembre de 2008. Aplicando la fórmula de eficiencia energética especificada en esta Directiva.

<sup>88</sup> UNIÓN EUROPEA. Directiva 2010/75/UE [en línea]. EUR-LEX, 2010 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1542841079965&uri=CELEX:32010L0075>>

- A través de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 se regula el fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Esta Directiva aporta, a los aspectos relevantes de este estudio, algunos cambios pero conceptualmente se sigue la línea que ya se introdujo en la Directiva 2001/77/CE. Allí se acoge como fuente renovable de energía la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.

### 2.5.3 Estados Unidos

De acuerdo con los datos de la EPA, en los Estados Unidos existen 86 instalaciones dedicadas a obtener energía de la combustión de residuos sólidos municipales, con una capacidad de generar 2.720 MW al año, provenientes de 28.000.000 t de residuos. Aunque no se han construido nuevas instalaciones desde 1995, algunas se han expandido. La misma EPA hace distinción entre las siguientes tecnologías:

- Quema masiva de residuos sólidos municipales a través de una cámara de combustión, de forma tal que a través del calor generado y del uso del agua se convierta en vapor, el cual es enviado a un generador de turbina para producir energía. Estas tecnologías disponen de un sistema para la captura de la ceniza resultante mediante sistemas de filtrado, la cual es dispuesta en rellenos sanitarios.
- Tecnologías de combustión, que a su vez pueden corresponder a cualquiera de las siguientes:
  - Instalaciones de quema masiva, que corresponden a la tecnología más común en los Estados Unidos, a través de la cual los residuos pueden ser o no separados antes de entrar a una cámara de combustión en condiciones de exceso de aire que se mezcla con los residuos y genera gas.
  - Sistemas modulares, que son más pequeños que las instalaciones de quema masiva.
  - Sistemas de combustible derivado de desperdicios que utilizan métodos mecánicos para triturar los RSM entrantes, separar los materiales no combustibles y producir una mezcla combustible que sea adecuada como combustible en un horno especial o como combustible suplementario en un sistema de caldera convencional.

La causa por la que la generación de energía no es más común se atribuye a que en los Estados Unidos no existen las limitaciones de área que existen en otros países y a la oposición que se ha presentado a este tipo de proyectos por parte de las comunidades. Precizando que este tipo de proyectos demandan una alta inversión inicial y solo generan ingresos a corto plazo, se advierte también sobre el factor económico que, además de las entradas generadas por venta de energía y por recolección de energía, puede corresponder a la venta de chatarra proveniente de las cenizas resultantes.

- Marco regulatorio:

Aunque que no existe una única tecnología que se ajuste a todos los materiales y corrientes de residuos en todas las circunstancias, la generación de energía forma parte de la jerarquización en el manejo de residuos ordinarios que ha sido definida por la EPA. A nivel federal este tipo de actividades están sometida a una doble regulación y control:

- La ambiental, a cargo de la EPA y sujeta a las regulaciones de la RCRA y de la CAA.
- La RCRA contiene regulaciones separadas para residuos ordinarios y residuos peligrosos. En cuanto a los primeros, la parte 240 establece los lineamientos para el procesamiento térmico de residuos sólidos y en la parte 241 regula lo relacionado con los residuos sólidos utilizados como combustible o ingredientes en unidades de combustión. Esta norma también identifica los materiales que deben ser tratados como residuos al ser usados en unidades de combustión.
- Por su parte, la CAA determina los estándares de emisión que se deben cumplir, de esta se deriva la regulación sobre NHSM.
- La producción y transmisión de la energía generada está sometida al control de la Comisión Federal Reguladora de la Energía y se rige principalmente por las disposiciones de la PURPA. En el desarrollo de esta ley se establecen las denominadas QF, que se sujetan a un tratamiento reglamentario y tarifario especial. Este tipo de instalaciones se dividen en dos categorías: pequeñas instalaciones de producción de energía e instalaciones de cogeneración calificadas, entre estas últimas se podrán considerar los proyectos de recuperación energética. Lo anterior, sin perjuicio de las regulaciones específicas que sobre la materia pueden adoptarse a nivel estatal.

#### 2.5.4 México

No existe un desarrollo normativo específicamente referido a la valorización energética; sin embargo, para el desarrollo de estas actividades resultan principalmente relevantes las siguientes disposiciones:

- La norma oficial mexicana NOM-098-ECOL-2002, cuyo título es Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de la operación y los límites de emisión de contaminantes define los requisitos que deben cumplir las instalaciones y las normas de emisión aplicables. Existen iniciativas que buscan la actualización de esta norma con el objetivo de ajustarla a las nuevas formas de generación de energías limpias a través de la disposición de RSU<sup>89</sup>.

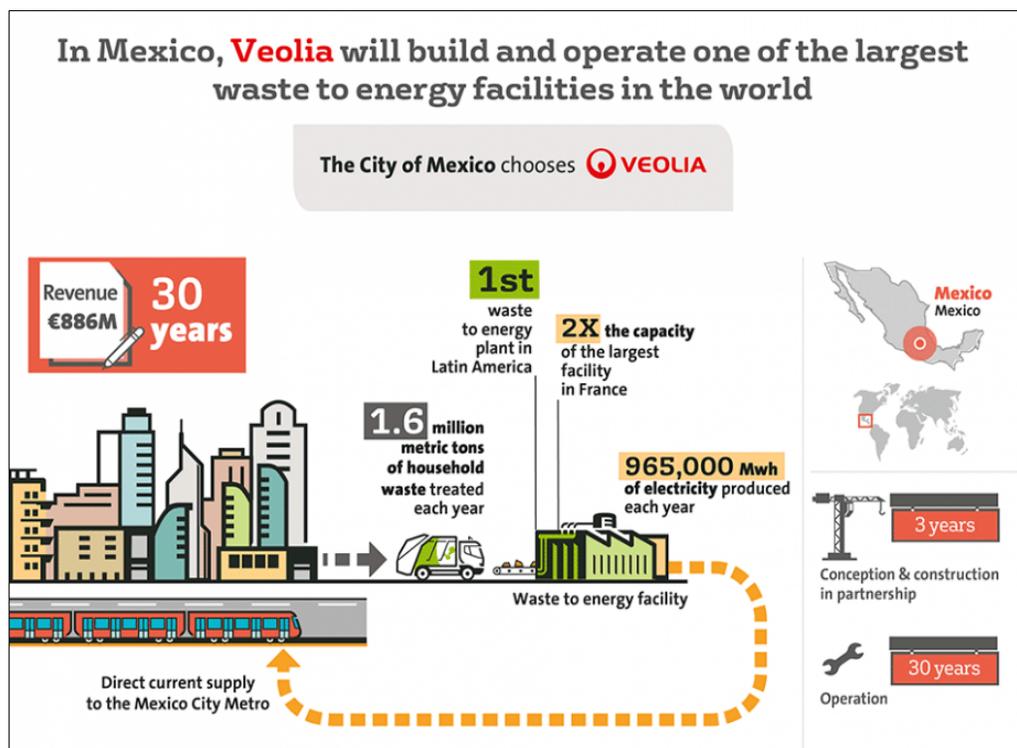
---

<sup>89</sup> JOSÉ, Roberto. Piden actualizar la NOM-098-SEMARNAT-2002. Zócalo [en línea]. México: octubre, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <[http://www.zocalo.com.mx/new\\_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002](http://www.zocalo.com.mx/new_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002)>

- Los proyectos de valorización energética en la regulación mexicana se entienden principalmente como la recuperación de GEI en los rellenos sanitarios, que se canalizan y se utilizan para generar electricidad. En este sentido, tiene también importancia la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, la cual contempla, pero no desarrolla la recuperación de energía como una de las alternativas de aprovechamiento de los residuos.

En este país se tiene proyectado el desarrollo de lo que se denomina la primera planta de valorización energética en Latinoamérica, para el manejo de los residuos sólidos municipales de la Ciudad de México, con las especificaciones descritas en la siguiente figura:

Figura 10 Planta de valorización energética en Latinoamérica



Fuente: Veolia<sup>90</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>90</sup> VEOLIA. In Mexico City, Veolia will build and operate one of the largest waste to energy facilities in the world and the first in Latin America. México, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://www.veolia.com/en/news/waste-to-energy-renewable-energy-mexico>>

El Gobierno mexicano desarrolló un EnRes, para ser ejecutado en el periodo 2014-2018 con el objeto de introducir el aprovechamiento energético como una opción de valorización de residuos urbanos en ese país. Este programa incluyó las siguientes cuatro líneas de trabajo<sup>91</sup>:

- Marco regulatorio, que contempló la revisión, elaboración y ajuste de instrumentos normativos para el aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Desarrollo de instrumentos económicos, que contempló la revisión de las diferentes fuentes de financiamiento existentes y el diseño de estrategias para el desarrollo de infraestructura y mercados de aprovechamiento energético.
- Desarrollo de capacidades, que contempló la capacitación de actores claves públicos y privados a nivel federal, estatal y local, con la finalidad de mejorar las competencias técnicas y sensibilizarlos acerca de las tecnologías innovadoras.
- Sensibilización y multiplicación de tecnologías, que contempló el asesoramiento técnico y de gestión para consolidar modelos replicables a lo largo del país que detonen el desarrollo de este tipo de infraestructura.

### 2.5.5 Argentina

En el ámbito nacional existe la Ley 25916 de 2004 sobre gestión integral de residuos sólidos domiciliarios, a partir de la cual se plantea del desarrollo de disposiciones sobre responsabilidad extendida del producto y la implementación de programas para la REGU. Esa ley no prevé expresamente la valorización energética como alternativa de gestión de los RSU. No obstante, las regulaciones aplicables para la ciudad de Buenos Aires y de manera particular la Ley 1854 de 2005 han sido recientemente modificadas por la Ley 5966 de 2018, con el ánimo de contemplar esta alternativa a través de instalaciones de incineración que cumplan los parámetros de emisión atmosférica preestablecidos. Esta Ley consagra lo siguiente<sup>92</sup>:

**Ley 5966 de la Legislatura de la Ciudad de Buenos Aires. Publicada: 23/05/2018**

**Modificación de la Ley 1854. Residuos Sólidos Urbanos–**

Artículo 1.º. – Modifíquese el Artículo 2º de la Ley 1854 –texto consolidado por Ley 5666- el que quedará redactado de la siguiente manera– «Artículo 2º. – Se entiende como concepto de Basura Cero, en el marco de esta norma, el principio de reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con plazo y metas concretas por medio de la adopción de un conjunto de medidas orientadas a la reducción en la generación de residuos, la separación selectiva, la recuperación, el reciclado y la valorización».

Art. 2.º - Modifíquese el Artículo 6.º de la Ley 1854- según texto consolidado por Ley 5666- el que quedará redactado de la siguiente manera– «Artículo 6º. – A los efectos del debido cumplimiento del Artículo 2.º de la presente ley, la

<sup>91</sup> SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Aprovechamiento energético de residuos urbanos (EnRes). México, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/aprovechamiento-energetico-de-residuos-urbanos-enres>>

<sup>92</sup> ARGENTINA. Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ley 5966 (3, mayo, 2018). Modificación de la Ley N.º 1854. Residuos Sólidos Urbanos [en línea]. Buenos Aires, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://normasambientales.com/ver-norma-ley-5966-modificacin-de-la-ley-n-1854-residuos-slidos-urbanos-2786.html>>

Autoridad de Aplicación fija un cronograma de reducción progresiva de la disposición final de residuos sólidos urbanos que conllevará a una disminución de la cantidad de desechos a ser depositados en rellenos sanitarios. Estas metas a cumplir serán de un 50 % para 2021, de un 65 % para 2025 y un 80 % para 2030, tomando como base los niveles enviados al CEAMSE durante 2012. Se prohíbe para 2028 la disposición final de materiales tanto reciclables como aprovechables».

Art. 3.º - Incorpórese el Artículo 6º bis a la Ley 1854 –Texto consolidado por Ley 5666-, el que quedará redactado de la siguiente manera: «Artículo 6º bis. – La Ciudad fijará un cronograma gradual de recuperación de materiales reciclables y aprovechables provenientes del circuito de recolección diferenciada cuyas funciones esenciales seguirán siendo prestadas con exclusividad por los recuperadores, en los términos–de la Ley 992 –texto consolidado por Ley –666».

Art 4.º - Modifíquese el Artículo 7º–de la Ley 1854 –Texto consolidado por Ley 5666—el que quedará redactado de la siguiente manera– «Artículo 7º. – Queda prohibido, desde la publicación de la presente, la combustión de residuos sólidos urbanos sin recuperación de energía. Asimismo, queda prohibida la contratación de servicios de tratamiento de residuos sólidos urbanos de esta ciudad que tenga por objeto la combustión sin recuperación de energía en otras jurisdicciones. Se prohíbe el tratamiento térmico de materiales reciclables o aprovechables provenientes de todo circuito de recolección diferenciada, implementado con exclusividad para esta fracción por la autoridad de aplicación, con excepción del rechazo producto de los mismos».

Art. 5.º - Incorpórese el Artículo 7.º bis a la Ley 1854 –Texto consolidado por Ley 5666- que quedará redactado de la siguiente manera: «Artículo 7.º bis. – La fracción de residuos sólidos urbanos húmedos solo podrán ser pasibles de transformación y valorización, mediante técnicas de combustión con recuperación energética, previo tratamiento en planta de separación con el fin de seleccionar aquellos materiales factibles de ser reciclados, principalmente cartón, papel y polietileno tereftalato. A tal fin, la autoridad de aplicación tomará medidas y realizará controles periódicos a efectos de dar cumplimiento con lo establecido en el presente».

Art. 6.º - Modifíquese el Inciso d) del punto 2 del Artículo 10º de la Ley 1854- según texto consolidado por Ley 5666- el que quedará redactado de la siguiente manera:

«d) Promover el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, incluyendo la combustión con recuperación energética».

Art. 7.º - Modifíquese el Inciso b) de Artículo 33.º–de la Ley 1854 –según el texto consolidado por Ley 5666-el que quedará redactado de la siguiente manera:

«b) Transformación, consistente en la conversión por métodos químicos (hidrogenación, oxigenación húmeda o hidrólisis), térmicos con recuperación energética o bioquímicos (compostaje, digestión anaerobia y degradación biológica) de determinados productos de los residuos, en otros aprovechables».

Art. 8.º - Incorpórese el Artículo 33.º bis a la Ley 1854 –Texto consolidado por Ley 5666- que quedará redactado de la siguiente manera:

«Artículo 33.º bis. – El tratamiento de residuos sólidos urbanos por medio de combustión con recuperación de energía, deberá garantizar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

a. Los servicios de tratamiento que tengan por objeto la combustión de residuos sólidos urbanos con recuperación energética deben utilizar métodos o tecnologías que aseguren el cumplimiento de los estándares de eficiencia energética definidos en la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (Anexo I de la presente), así como sus actualizaciones posteriores.

b. Los límites para las emisiones a la atmósfera producto de la combustión de residuos no podrán superar los límites establecidos en el Anexo VI, Parte 3, de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (Anexo II de la presente).

c. La gestión de los residuos resultantes de la combustión debe realizarse según las normas vigentes para el tratamiento de residuos, en particular las cenizas volantes que deben ser consideradas como residuos peligrosos.

Art. 9.º - Modifíquese el artículo 52.º de la Ley 1854 –según texto consolidado–r la Ley 5666–el que quedará redactado de la siguiente manera:

–Artículo 52.º - En el caso de utilizar como tecnología para el tratamiento de residuos sólidos urbanos la combustión con recuperación energética, los residuos sólidos urbanos podrán ser pasibles de valorización energética cuando estos no hayan podido previamente ser recuperados y/o reutilizados en los centros de selección, acondicionamiento o tratamiento». Asimismo, se deberá garantizar la protección de la salud de las personas y del ambiente.

Artículo 10.- Incorpórese el Artículo 52.º bis a la Ley 1854 –texto consolidado por Ley 5666-, que quedará redactado de la siguiente manera: «Artículo 52.º bis. – Créase el Sistema de Información Pública del Sector de la Valorización Energética de Residuos (SIPSEVER), que permita el monitoreo continuo y permanente de las emisiones en la atmósfera, en el suelo y en las aguas superficiales y subterráneas que resulten de las actividades de combustión con recuperación energética. Los resultados obtenidos deberán ser remitidos de forma bimestral a la Comisión de Asesoramiento Técnico mencionada en el artículo 10 de la presente, para su conocimiento y evaluación».

## 2.5.6 Perú

A través del Decreto Legislativo 1278 de 2016, fue aprobada la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, que prevé entre sus principios orientadores el de economía circular y el de valorización de residuos. En su artículo 37, señala que la valorización constituye la alternativa de gestión y manejo que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos y advierte que la misma comprende, entre otras alternativas, la valorización energética. En el artículo 48 se consagra que «constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar (bioacarbon o carbón vegetal), entre otros». Con fecha 20 de diciembre de 2017 fue aprobado el Reglamento del Decreto Legislativo 1278, el cual se ocupa en varios de sus artículos sobre el tema de valorización energética<sup>93</sup>:

### DECRETO SUPREMO N° 014-2017-MINAM

Artículo 1.- Objeto El presente dispositivo normativo tiene como objeto reglamentar el Decreto Legislativo N° 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, a fin de asegurar la maximización constante de la eficiencia en el uso de materiales, y regular la gestión y manejo de residuos sólidos, que comprende la minimización de la generación de residuos sólidos en la fuente, la valorización material y energética de los residuos sólidos, la adecuada disposición final de los mismos y la sostenibilidad de los servicios de limpieza pública (...)

#### SUB CAPÍTULO 5 VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Artículo 36.- Aspectos generales La valorización de residuos sólidos municipales debe priorizarse frente a la disposición final de los mismos. Las municipalidades pueden realizar las operaciones de valorización de residuos sólidos municipales descritas en el art. 48 del Decreto Legislativo, directamente o a través de las organizaciones de recicladores debidamente formalizados o las EO-RS. La implementación de otras operaciones de valorización de residuos sólidos municipales distintas a las descritas en el art. 48, debe contar con opinión previa favorable del MINAM.

Artículo 37.- Plantas de valorización Las municipalidades pueden implementar plantas de valorización material o energética de residuos sólidos municipales, en infraestructuras que cumplan con las características establecidas en el artículo 105 del presente Reglamento.

Artículo 38.- Verificación de las metas nacionales de valorización de residuos sólidos municipales Las metas nacionales de valorización de residuos sólidos municipales son establecidas por el MINAM, en el PLANAA y PLANRES. El cumplimiento de las metas nacionales de valorización se sustente en la información histórica relativa a los residuos sólidos municipales sometidos a valorización reportada por las municipales en el SIGERSOL (...)

#### SUBCAPÍTULO 4 VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS NO MUNICIPALES

Artículo 65.- Disposiciones generales La valorización constituye la alternativa de gestión y manejo que debe priorizarse frente a la disposición final de los residuos sólidos. Son consideradas operaciones de valorización: reciclaje, compostaje, reutilización, recuperación de aceites, bioconversión, coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otras alternativas posibles y de acuerdo con la disponibilidad tecnológica del país. Los generadores del ámbito de la gestión no municipal pueden ejecutar operaciones de valorización respecto de sus residuos sólidos.

Artículo 66.- Actividades de acondicionamiento de residuos sólidos no municipales Las actividades de acondicionamiento de residuos sólidos no municipales se pueden realizar en plantas de valorización o en las instalaciones del generador no municipal, pudiendo comprender los siguientes: a) Segregación; b) Almacenamiento; c) Limpieza; d) Trituración o molido; e) Compactación física; f) Empaque o embalaje; g) Procesos, métodos o técnicas

<sup>93</sup> PERÚ. Presidencia de la República. Decreto Supremo 014-2017-MINAM (20, diciembre, 2017). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [en línea]. Lima: El Peruano, 2017, p. 18 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds\\_014-2017-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf)>

de tratamiento, de corresponder y; h) Otras que establezca el MINAM en coordinación con las autoridades competentes.

Artículo 67.- Operaciones de valorización energética Constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: coprocesamiento, incineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros. Mediante Decreto Supremo refrendado por el MINAM y los sectores competentes se regula el manejo y las condiciones para la valorización energética en las diversas actividades económicas productivas, extractivas y de servicios. El MINAM y los sectores competentes promueven las tecnologías disponibles para dichas operaciones, con la finalidad de garantizar la eficiencia del proceso y la protección ambiental.

Artículo 68.- Regla para el coprocesamiento en hornos de cemento No constituyen residuos coprocesables en hornos de cemento, de acuerdo con el Convenio de Basilea, los siguientes: a) Desechos radiactivos o nucleares; b) Desechos eléctricos y electrónicos; c) Baterías enteras; d) Desechos corrosivos, incluidos los ácidos minerales; e) Explosivos; f) Desechos que contengan cianuro; g) Desechos que contengan amianto; h) Desechos médicos infecciosos; i) Armas químicas o biológicas destinadas a su destrucción; j) Desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él; k) Desechos de composición desconocida o impredecible, incluyendo los desechos municipales sin clasificar. El MINAM, con opinión favorable de los sectores vinculados, puede incluir otros tipos de residuos sólidos, sobre la base de sus características y los impactos ambientales, económicos y sociales que ocasione su manejo inadecuado, así como formular las normas técnicas respectivas para estipular los procedimientos aplicables al coprocesamiento. (...)

#### CAPÍTULO III PLANTAS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Artículo 103.- Plantas de valorización de residuos sólidos Las plantas de valorización son infraestructuras donde se realizan las siguientes operaciones: a) Actividades de acondicionamiento señaladas en el artículo 66 del presente Reglamento; b) Biodegradación de la fracción orgánica de los residuos con fines de producción de energía o mejorador de suelo; c) Uso de residuos orgánicos para el desarrollo de compostaje; d) Recuperación de aceites usados; e) Desmantelamiento/desensamblaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos; f) Otras alternativas de valorización.

Artículo 104.- Condiciones mínimas de las plantas de valorización Las plantas de valorización de residuos sólidos deben cumplir como mínimo, con las siguientes condiciones: a) No deben ubicarse en áreas de zonificación residencial, comercial o recreacional; b) No obstaculizar el tránsito vehicular o peatonal; c) Disponer de un sistema de lavado, limpieza y fumigación; d) Contar con canales para la evacuación de aguas de lluvia, según corresponda.

Artículo 105.- Características de las plantas de valorización Para el diseño de las plantas de valorización se debe considerar, como mínimo, los siguientes aspectos: a) Contar con áreas para la maniobra y operación de vehículos y equipos sin perturbar las actividades operativas; b) Independización del área de manejo de residuos del área administrativa y de los laboratorios; c) Contar con sistemas de iluminación y ventilación; d) Contar con paredes y pisos impermeables y lavables; e) Contar con sistemas contra incendio.

### 2.5.7 Chile

La Ley 20920 de 2016<sup>94</sup> establece el marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y el fomento al reciclaje. Así mismo, esta tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

Como parte de sus principios orientadores, establece una jerarquía en el manejo de residuos; es decir, un orden de preferencia de manejo, que considera como primera alternativa la prevención en la generación de residuos, luego la reutilización, el reciclaje de los mismos o de uno o más

<sup>94</sup> CHILE. Congreso Nacional. Ley 20.920 (01, junio, 2016). Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje [en línea]. Santiago: BCN, 2016 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>>

de sus componentes y la valorización energética de los residuos, total o parcial, dejando como última alternativa su eliminación. Además, esta normativa define la valorización energética como el empleo de un residuo con la finalidad de aprovechar su poder calorífico, pero no lo desarrolla. Además, se presenta la Ley 20698 de 2013, que propicia la ampliación de la matriz energética, mediante FNCE, entre lo que deben entenderse incluidos «aquellos cuya fuente de energía primaria sea la energía de la biomasa, correspondiente a la obtenida de materia orgánica y biodegradable, la que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otros biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos. Se entenderá incluida la fracción biodegradable de los residuos sólidos domiciliarios y no domiciliarios».

Para concluir esta sección, en países con sistemas avanzados de tratamiento de residuos, la obtención de energía a partir de RSU es una parte integrada del sistema de gestión de los residuos. Teniendo esto en cuenta, las tecnologías de residuos a energía pueden considerarse como el paso necesario y natural para Colombia. Si bien las inversiones en tecnologías WTE son a menudo significativas, la conversión de residuos a energía genera flujos de ingresos, los cuales mejoran exponencialmente la rentabilidad que cada año se presenta en la disposición final de los residuos a rellenos sanitarios. De allí, es necesario construir políticas integrales para el uso y desarrollo de los RSU con especial énfasis a la biomasa, que contemple como uno de sus pilares de promoción del aprovechamiento energético, en lo que podría llamarse una política de bioenergía, en el que se presente un cambio de percepción y comportamiento frente al tema.

## **2.6 Oportunidades de financiamiento de proyectos de valorización de residuos en Colombia**

### **2.6.1 Inversión privada**

En el marco de la libre competencia que por regla general caracteriza la prestación de los servicios públicos domiciliarios, no hay fundamento jurídico para excluir la posibilidad de que un proyecto de valorización energética de residuos se desarrolle a través de inversión e iniciativa privada. Sin embargo, ello solo será posible en la medida en que estén dadas las bases que garanticen la estabilidad a largo plazo del negocio y, consecuentemente, el carácter oneroso que este tipo de inversiones presuponen.

Sobre la base de la existencia de un proyecto de generación energética a través de FNCE, serán las mismas condiciones del mercado las que pueden llegar a garantizar esta onerosidad, tomando en consideración los incentivos y demás lineamientos de política pública ya establecidos para definir e implementar un mecanismo que promueva la contratación a largo plazo para este tipo de proyectos, como complemento a los mecanismos existentes en el mercado de energía mayorista. Pero aun en el evento en que pudiera garantizarse la sostenibilidad financiera del proyecto de generación y comercialización de energía en sí mismo, de igual forma deberá

garantizar el suministro a largo plazo de los residuos sólidos municipales que estarán llamados a constituirse el insumo en el desarrollo del proyecto.

Considerando que, aun en el evento en que la inversión sea 100 % privada, se estima necesario que un proyecto de estas características parta de la existencia de un vínculo contractual con las entidades públicas que correspondan. En este sentido, la modalidad contractual que mejor parece ajustarse a los requerimientos de un proyecto de valorización energética es el del contrato de concesión, definido en el numeral 4.º del artículo 32 de la Ley 80 de 1993 como el que:

...celebran las entidades estatales con el objeto de otorgar a una persona llamada concesionario la prestación, operación, explotación, organización o gestión, total o parcial, de un servicio público, o la construcción, explotación o conservación total o parcial, de una obra o bien destinados al servicio o uso público, así como todas aquellas actividades necesarias para la adecuada prestación o funcionamiento de la obra o servicio por cuenta y riesgo del concesionario y bajo la vigilancia y control de la entidad concedente, a cambio de una remuneración que puede consistir en derechos, tarifas, tasas, valorización, o en la participación que se le otorgue en la explotación del bien, o en una suma periódica, única o porcentual y, en general, en cualquier otra modalidad de contraprestación que las partes acuerden.

De la misma manera y como antecedente, cabe referirse al contrato de concesión con exclusividad, celebrado el 27 de noviembre de 2009 entre el MME y la Sociedad Productora de Energía de San Andrés y Providencia S. A. E. S. P. (SOPESA), para la prestación del servicio de energía eléctrica en el área geográfica de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, previo proceso de invitación pública. Entre los compromisos asumidos por el contratista en virtud de este contrato, se incluyó en el numeral 5.º de la cláusula 9.3 la de construir la Planta de Generación RS, la cual debía entrar en operación a más tardar el 1 de febrero de 2011, con la presentación de un plan de inversiones precedente que debía contener como mínimo la identificación de la tecnología que se aplicaría; la capacidad nominal de la planta, eficiencia y factor de capacidad; los diseños definitivos; los planos de ubicación de la planta; la licencia y el plan de manejo ambiental; los permisos y licencias; el cronograma de ejecución de la obra e inversión; el plan de aprovechamiento de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario *Magic Garden*, y el plan de mantenimiento de inversiones.

Este contrato estuvo antecedido por el Convenio Interadministrativo de Asociación celebrado entre el MME, el entonces MAVDT (en ejercicio de funciones que hoy corresponden al MVCT), el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina y la CORALINA, con el objeto de «aunar esfuerzos desde el marco de las competencias y responsabilidades asignadas a cada una de las entidades suscribientes para determinar las obligaciones que permitan implementar la solución integral al servicio de energía eléctrica y al servicio de aprovechamiento térmico de residuos sólidos en la Isla de San Andrés». Se precisa que la viabilidad económica de este contrato de concesión se vio favorecida por corresponder a un área de servicio exclusivo en

términos del artículo 40 de la Ley 142 de 1994 y por el hecho de que su alcance no ha estado circunscrito al proyecto de valorización energética.

### 2.6.2 Inversión pública – privada

La Ley 1508 de 2012 concibió las APP como un instrumento de vinculación de capital privado, que se materializan en un contrato entre una entidad estatal y una persona natural o jurídica de derecho privado, por iniciativa pública o privada y con un plazo máximo de 30 años, para la provisión de bienes públicos y de sus servicios relacionados. Esta provisión involucra la retención y transferencia de riesgos entre las partes y mecanismos de pago relacionados con la disponibilidad y el nivel de servicio de la infraestructura y/o servicio. Igualmente, prevé la misma ley que las concesiones de que trata el numeral 4 del artículo 32 de la Ley 80 de 1993, se encuentran comprendidas dentro de los esquemas de APP; además, anticipa la posibilidad de que para las APP se autorice la asunción de compromisos de vigencias futuras, hasta por el tiempo de duración del proyecto y en las condiciones que la misma ley establece.

A través del Decreto 063 de 2015 «por el cual se reglamentan las particularidades para la implementación de Asociaciones Público Privadas en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico» y que se encuentra incorporado al Decreto 1082 de 2015, Único Reglamentario del Sector de Planeación Nacional a partir del artículo 2.2.2.1.9.1, se regulan aspectos relacionados con la implementación de esquemas de APP, de iniciativa pública o privada, que se desarrollen en el marco de la Ley 1508 de 2012 en el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Entre las regulaciones que forman parte de este reglamento, conviene mencionar las siguientes:

- El artículo 4 prevé que en las APP se retribuirá la actividad con el derecho a la explotación económica de esa infraestructura o servicio, en las condiciones que se pacten, por el tiempo que se acuerde, con aportes del Estado cuando la naturaleza del proyecto lo amerite. Sobre esta base, consagra que en la estructuración financiera se deberá diferenciar, qué actividades del proyecto se retribuirán a través de la explotación económica y qué parte mediante el desembolso de recursos públicos.
- De acuerdo con el párrafo 3.º del mismo artículo 4, dentro de los esquemas de APP, se podrá hacer uso del giro directo de los recursos del Sistema General de Participaciones conforme con lo dispuesto en el Decreto 1484 de 2014 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya.
- El artículo 6.º establece que corresponderá al MVCT, la evaluación y viabilización de los proyectos del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico que se adelanten bajo APP y se financien con recursos del Presupuesto General de la Nación o de otros fondos públicos del orden nacional y definir los requisitos para el efecto.
- De acuerdo con el artículo 7, para las APP del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, se podrá solicitar el establecimiento de un Área de Servicio Exclusivo, conforme lo establecido en la normativa vigente.

Es importante advertir que, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 24 de la Ley 1508 de 2012, los recursos activos y pasivos presentes y futuros vinculados al proyecto objeto de la APP deberán ser administrados a través de un patrimonio autónomo constituido por el contratista. La entidad estatal tendrá la potestad de exigir al administrador del patrimonio autónomo la información que estime necesaria en los plazos y términos que se establezca en el contrato.

### 2.6.3 Banca multilateral

Para el desarrollo de proyectos de valorización energética de residuos podrá acudir a recursos de banca multilateral. El BM es uno de los principales proveedores de financiamiento para proyectos de energía renovable y eficiencia energética en los países en desarrollo y de ingreso mediano. Así lo expresa en su página web<sup>95</sup>, donde también se advierte que entre los ejercicios de 2014 y 2017 proporcionó más de USD 9.500 millones en financiamiento para energías renovables y eficiencia energética. Durante el mismo período, el 80 % de las inversiones del BM en generación de energía correspondió a energía renovable.

En este mismo sentido, el BM administra el ESMAP<sup>96</sup> como un programa mundial de asistencia técnica y de conocimiento que busca ayudar a los países de ingresos bajos y medios a aumentar los conocimientos y la capacidad institucional para lograr soluciones energéticas ambientalmente sostenibles para la reducción de la pobreza y el crecimiento económico. Desde su inicio en 1983, ESMAP ha apoyado más de 800 actividades del sector energético que promueven la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y el desarrollo bajo en carbono en más de 100 países.

Así, ya existen experiencias previas en materia de financiamiento, por parte del BM, a proyectos de valorización energética de residuos sólidos municipales. En el documento *Fuentes de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México*<sup>97</sup>, se hace referencia a la financiación por parte del BM para la construcción de una planta de valorización energética en la ciudad de Monterey, México, con una capacidad de 7,42 MW y una inversión de USD 13,3 millones, de los cuales 37 % fue financiado por el BM.

El apoyo financiero del BM no excluye al sector privado, en consideración a que a través de la IFC puede brindar apoyo a organizaciones privadas que participen en proyectos de valorización

---

<sup>95</sup> GRUPO BANCO MUNDIAL. Energía [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#2>>

<sup>96</sup> ESMAP. ESMAP at a glance [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.esmap.org/node/70853>>

<sup>97</sup> GIZ. Fuentes de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de RSU y RME [en línea]. México, 2016 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-es-EnRes\\_Fuentes\\_de\\_recursos\\_financieros\\_para\\_proyectos\\_de\\_aprovechamiento\\_energetico\\_de\\_RSU\\_y\\_RME.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-es-EnRes_Fuentes_de_recursos_financieros_para_proyectos_de_aprovechamiento_energetico_de_RSU_y_RME.pdf)>

energética. En este sentido, es importante advertir que entre las prioridades del IFC para la región de Latinoamérica y el Caribe, se encuentran las siguientes<sup>98</sup>:

- El asesoramiento y apoyo a las APP, que identifique como unas instituciones que están ayudando a los gobiernos nacionales y municipales de los países en desarrollo a asociarse con el sector privado para mejorar el acceso, entre otros temas, a la energía y el saneamiento. Señala el IFC que estas asociaciones son una herramienta que ayuda a los gobiernos a aprovechar la experiencia y la eficiencia del sector privado, aumentar el capital y estimular el desarrollo. También, estas ayudan a canalizar el riesgo en los sectores público y privado y garantizan que los recursos se distribuyan de manera inteligente para abordar las necesidades más urgentes de desarrollo.
- El *Climate Business* de IFC crea mercados invirtiendo directamente en sectores climáticamente inteligentes, desarrollando nuevos mecanismos de eliminación de riesgos y agregación, e involucrando a las partes interesadas de los sectores público y privado a través de foros internacionales y grupos de trabajo. Al hacerlo, IFC está incorporando el negocio del clima en sectores de alto crecimiento, abriendo nuevos mercados en áreas clave como la energía limpia.

Por su parte, el BID ofrece alternativas de financiamiento para el sector público y para APP, de acuerdo con los objetivos de desarrollo, elegibilidad y requisitos de desembolso de los préstamos. Entre estas alternativas se encuentran los préstamos de inversión a través de los cuales se financian obras públicas para promover el desarrollo social y económico. De igual forma, este banco sirve de garante de préstamos otorgados por instituciones financieras privadas a los sectores público y privado, como forma de mejorar las condiciones financieras de los proyectos en América Latina y el Caribe y, así, ayudar a financiar inversiones en los países de la región.

#### 2.6.4 Financiamiento por parte de FINDETER

La Ley 142 de 1994 previó que las entidades prestadoras de servicios públicos podrían recibir financiamiento y asesoría por parte de Findeter. Esta sociedad financiera fue creada a través de la Ley 57 de 1989, para la promoción del desarrollo regional y urbano, mediante la financiación y la asesoría en el diseño, la ejecución y la administración de proyectos o programas de inversión relacionados con una serie de actividades, entre las que se encuentran la construcción, ampliación y reposición de infraestructura correspondiente al sector del saneamiento básico. La misma ley consagra que todas las operaciones de crédito de la Financiera se efectuarán a través del sistema de redescuento por intermedio de establecimientos de crédito o de las entidades descentralizadas de los entes territoriales.

---

<sup>98</sup> IFC. Acerca de IFC [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/multilingual\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/home\\_es](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/multilingual_ext_content/ifc_external_corporate_site/home_es)>

## 2.6.5 Fuentes públicas de financiamiento

### 2.6.5.1 Sector energía

Los fondos de apoyo financiero para el desarrollo de proyectos del sector energético han estado principalmente orientados a la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas, a través del FAER; a la Energización de las Zonas No Interconectadas, a través del FAZNI; al PRONE, y para el desarrollo de los programas del FOES. No obstante, los proyectos de valorización energética pueden acceder a los instrumentos que ordenan las Ley 697 de 2001 y Ley 1715 de 2014 para el fomento y la promoción de las FNCE. En este sentido, en el artículo 2.2.3.6.2.2.5.1 del Decreto 1073 de 2015, Único Reglamentario del Sector Minas y Energía, a través del cual se compila el artículo 18 del Decreto 3683 de 2003, asigna al MME, por medio de sus Unidades Administrativas Especiales CREG y UPME, en coordinación con las entidades públicas pertinentes, la obligación de identificar e implementar modelos y fuentes de financiación para la gestión y ejecución del PROURE, y los aplicables a los proyectos de URE, y de promoción de energías no convencionales, de conformidad con los lineamientos establecidos en dicho programa.

Así, a través del artículo 10 de la Ley 1715 de 2014 fue creado el FENOGE, para financiar programas de fuentes no convencionales de energía y gestión eficiente de la energía, como un fondo que puede recibir recursos públicos, privados y de organismos multilaterales e internacionales, y que es administrado por una fiducia que seleccione el MME para tal fin. El artículo 190 de la Ley 1753 de 2015 establece un porcentaje de los recursos que recaude el ASIC, que será destinado para financiar dicho fondo. El FENOGE fue objeto de reglamentación a través del Decreto 1543 de 2017, que para tal efecto adicionando una Sección 5 al Capítulo 3 del Título 111 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía 1073 de 2015.

De acuerdo con esta reglamentación, con los recursos del FENOGE se podrán financiar parcial o totalmente, entre otros, por programas y proyectos dirigidos al sector residencial de estratos 1, 2 y 3, tanto para la implementación de soluciones de autogeneración a pequeña escala como para la mejora de eficiencia energética mediante la promoción de buenas prácticas, equipos de uso final de energía, adecuación de instalaciones internas y remodelaciones arquitectónicas. Igualmente, se podrán financiar los estudios, las auditorías energéticas, las adecuaciones locativas, la disposición final de equipos sustituidos y los costos de administración e interventoría de los programas y/o proyectos. En consecuencia, existirán limitaciones de orden jurídico para financiar proyectos que se encuentren por fuera de este alcance.

### 2.6.5.2 Sector saneamiento básico

El Sistema General de Participaciones es concebido por los artículos 356 y 357 de la Constitución Política, en la forma en que fueron modificados por los Actos Legislativos 1 de 2001 y 4 de 2007,

como el instrumento para atender los servicios a cargo de la Nación, los departamentos, los distritos y los municipios, y para proveer los recursos para financiar adecuadamente su prestación. La misma norma constitucional establece los servicios a los que se dará prelación con los recursos de este sistema, entre los que se encuentran el servicio público domiciliario de saneamiento básico.

Este Sistema es objeto de desarrollo legal en la Ley 715 de 2001, en el cual los recursos para saneamiento básico se incluyen como parte de lo que se denomina participación de propósito general y se definen criterios para la distribución de estos recursos. Los recursos del sistema para saneamiento se canalizan a través del PAP-PDA, que regula el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda 1077 de 2015.

Así, el anterior decreto se entiende como un conjunto de estrategias de planeación y coordinación interinstitucional formuladas y ejecutadas con el objeto de lograr la armonización integral de los recursos y la implementación de esquemas eficientes y sostenibles en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico, teniendo en cuenta las características locales, la capacidad institucional de las entidades territoriales y personas prestadoras de los servicios públicos y la implementación efectiva de esquemas de regionalización. Para todos los efectos se entenderá que cuando se mencione el PAP-PDA, se comprenderá todo lo que hace referencia a los PDA. El mismo decreto define los requisitos para que los departamentos, municipios y distritos puedan participar en estos planes.

El Decreto 1077 de 2015 también prevé que los recursos de cofinanciación, aportes de inversión regional y apoyo de la Nación al sector corresponden a los apoyos financieros constituidos por las apropiaciones en el presupuesto General de la Nación en el marco de los PAP-PDA, al igual que la asistencia técnica y/o los apoyos en especie entregados. Sin embargo, precisa que pueden ejecutarse por fuera de los planes los demás programas del Gobierno nacional que tengan vinculados recursos de cooperación y apoyo que recibe la Nación de organismos internacionales, con el fin de cofinanciar programas del sector de agua potable y saneamiento básico. Además, agrega el reglamento, en el que se determina que para que las entidades territoriales puedan acceder a estos recursos deben destinar tres bolsas de apoyo financiero:

- Bolsa «Concurso Territorial», en la que se destinan recursos de apoyo financiero de la Nación asignados por el MVCT a proyectos que podrán presentar los municipios o distritos de aquellos departamentos debidamente vinculados al PAP-PDA.
- Bolsa «Inversiones PAP-PDA», en la que se destinan los recursos de apoyo financiero de la Nación al Programa, de acuerdo con los cupos indicativos que la misma reglamentación señala.
- Bolsa «Proyectos Estratégicos»: Es aquella a la que se destinan recursos de apoyo financiero de la Nación que serán asignados a los municipios y departamentos por el MVCT, a aquellos

proyectos que se enmarquen en las políticas estratégicas de este ministerio definidas en la ley.

El Decreto 0475 de 2015, que se incorpora al Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda a partir del artículo 2.3.3.2.1.1, establece el Mecanismo Departamental para la evaluación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico por financiar con recursos que no provienen de la Nación, y se determinan los requisitos y procedimientos para la presentación, viabilización y aprobación de proyectos. En cumplimiento de lo ordenado por este decreto, a través de la Resolución 672 de 2015, el MVCT adoptó la *Guía para la presentación, viabilización y aprobación de proyectos ante el Mecanismo Departamental de Evaluación y Viabilización de Proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico en el marco de los Planes Departamentales de Agua y los demás Programas regionales para el manejo de agua potable y saneamiento básico*.

## **2.6.6 Incentivos tributarios**

La Ley 1715 de 2014 estableció una serie de incentivos tributarios para la inversión en proyectos de fuentes no convencionales de energía, entre las que se incluye la valorización energética de residuos sólidos.

Entre los requisitos que se establecen para acceder a estos beneficios, se encuentra la obtención de una certificación previa que debe tramitar y obtener el interesado ante la ANLA y que se rige por lo dispuesto en la Resolución 1283 de 2016 y su modificación contenida en la Resolución 1303 de 2018, ambas proferidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. También se exige un concepto previo favorable por parte de la UPME, regulado a través de la Resolución 00463 de 2018, proferida por esa unidad. Los beneficios que establece la ley son los siguientes:

### **2.6.6.1 Deducción de renta**

En el artículo 11 se consagra que, los obligados a declarar renta que realicen directamente inversiones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE y gestión eficiente de la energía en este sentido, tendrán derecho a reducir anualmente de su renta, por los 5 años siguientes al año gravable en que hayan realizado la inversión, el 50% del valor total de la inversión realizada, previa certificación de beneficio ambiental por el MADS. Aunque para efectos de la certificación el artículo remite al artículo 158-2 del Estatuto Tributario, el artículo 103 de la Ley 1819 de 2016 consagra que la remisión deberá entenderse hecha al artículo 255 del mismo estatuto.

El Decreto 2143 de 2015, se adicionó el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para

la aplicación de estos incentivos. En el artículo 2.2.3.8.2.3 de este decreto se establecen reglas para acceder al beneficio<sup>99</sup>.

### 2.6.6.2 Exclusión de IVA

El artículo 12 consagra que para fomentar el uso de la energía procedente de FNCE, los equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados que se destinen a la preinversión e inversión, para la producción y utilización de energía a partir de las fuentes no convencionales, así como para la medición y evaluación de los potenciales recursos, estarán excluidos de IVA, previa certificación que corresponde emitir al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con base en una lista expedida por la UPME.

Este beneficio nuevamente es objeto de desarrollo reglamentario en el Decreto Único Reglamentario del Sector Minas y Energía, adicionado por el Decreto 2143 de 2015<sup>100</sup>.

### 2.6.6.1 Exención en el pago de derechos arancelarios

El artículo 13 establece que las personas naturales o jurídicas que sean titulares de nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE gozarán de exención del pago de los derechos arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de preinversión y de inversión de proyectos con dichas fuentes. Este beneficio arancelario será aplicable y recaerá sobre maquinaria, equipos, materiales e insumos que no sean producidos por la industria nacional y su único medio de adquisición esté sujeto a la importación de los mismos.

---

<sup>99</sup> De acuerdo con, los requisitos son los siguientes:

1. El valor máximo a deducir en un período no mayor a cinco (5) años, contados a partir del año gravable siguiente a aquel en el que se efectúan las nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir de FNCE o gestión eficiente de la energía, será el 50 % del valor total de la inversión realizada.
2. El valor máximo a deducir por período gravable en ningún caso podrá ser superior al cincuenta por ciento (50 %) de renta líquida contribuyente, antes restar deducción.
3. En la determinación y límites la presente deducción, se dará aplicación artículo 177-1 del Estatuto Tributario. Para los efectos de la obtención del beneficio tributario, se deberá verificar que las personas naturales o jurídicas, efectivamente sean titulares nuevas inversiones en nuevos proyectos de FNCE y gestión eficiente la energía. Los contribuyentes declarantes impuesto sobre la renta obligados a llevar contabilidad podrán, adicional a lo establecido en los numerales 1 y 2 este artículo, en el año en que se efectúe la inversión, deducir por las nuevas inversiones en proyectos de FNCE o gestión eficiente de energía, el valor por depreciación o amortización que corresponda de acuerdo con el régimen de deducciones previsto en el Estatuto Tributario o aquel previsto en el artículo 14 de la Ley 1725.

<sup>100</sup> El artículo 2.2.8.3.1 consagra que estarán excluidos del IVA la compra de equipos, elementos y maquinaria, nacionales o importados, o la adquisición de servicios dentro o fuera del territorio nacional que se destinen a nuevas inversiones y preinversiones para la producción y utilización de energía a partir FNCE, así como aquellos destinados a la medición y evaluación de los potenciales recursos, de conformidad con la certificación emitida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de equipos y servicios excluidos del impuesto, para lo cual se basará en el listado elaborado por la UPME y sus actualizaciones.

En el desarrollo reglamentario, nuevamente contenido en el Decreto 2143 de 2015, se advierte sobre la necesidad de obtener certificaciones previas por parte de la UPME y de la ANLA, y en posterior registro de la certificación ante la VUCE, con el cual se entiende cumplida la solicitud de exención a la DIAN.

#### **2.6.6.2 Depreciación acelerada de activos**

Este beneficio se encuentra previsto en el artículo 14 de la Ley y también es objeto de reglamentación por parte del Decreto 2143 de 2015, que establece que los Generadores de Energía a partir de FNCE que realicen nuevas inversiones en maquinaria, equipos y obras civiles adquiridos y/o construidos con posterioridad a la vigencia de la Ley 1715 de 2014, exclusivamente para las etapas de preinversión, inversión y operación de proyectos de generación a partir de FNCE, podrán aplicar el incentivo de depreciación fiscal acelerada, de acuerdo con la técnica contable, hasta una tasa anual global del 20 %. Además, agrega la reglamentación que los obligados a presentar declaración de renta y complementarios deberán obtener previamente certificación por parte de la ANLA.

#### **2.6.7 Beneficios asociados con la mitigación del cambio climático**

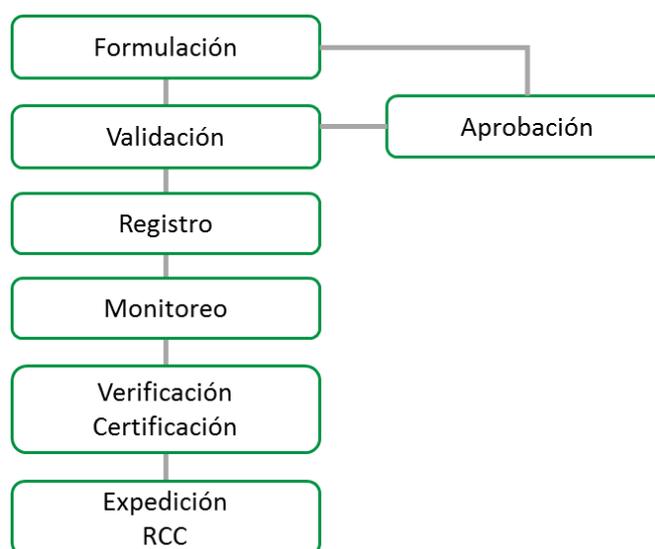
En la medida en que a través del proyecto de valorización energética de residuos puede llegar a generarse una reducción significativa de emisiones de GEI, deben también considerarse los beneficios económicos que podrían llegar a derivarse por este concepto. Recientemente fue aprobada en Colombia la Ley 1931 del 27 de julio de 2018, *por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático*. Esta ley prevé algunos instrumentos económicos y financieros para la gestión del cambio climático, entre los que conviene resaltar la facultad que se confiere al Gobierno nacional para establecer un régimen de incentivos dirigidos a personas naturales o jurídicas, públicas, privadas o mixtas que realicen acciones concretas de adaptación y mitigación al cambio climático. No obstante, estos incentivos aún no cuentan con un desarrollo reglamentario que permita establecer su aplicabilidad para un proyecto como el que se analiza.

En cualquier caso, será posible acceder a beneficios económicos derivados de la mitigación de cambio climático que tienen origen en la CMNUCC, aprobada en Colombia a través de la Ley 164 de 1994, y su desarrollo a través del Protocolo de Kioto, aprobado en Colombia con la Ley 629 de 2000, con el cual fueron establecidos los MDL, para la realización de proyectos de reducción o de captura de gases efecto invernadero en países en desarrollo como Colombia. El MADS es la autoridad nacional designada ante la CMNUCC y como tal le corresponde aprobar los proyectos que optan al MDL. El procedimiento y demás requisitos para la aprobación nacional son definidos por el mismo ministerio a través de las Resoluciones 2733 y 2734 de 2010.

Una vez formulado el proyecto y obtenida la aprobación nacional con el cumplimiento de los requisitos establecidos en las resoluciones antes mencionadas, corresponde al interesado obtener

una auditoría de tercera parte de una DOE, como base para proceder al registro del proyecto ante la Junta Ejecutiva del MDL de la CMNUCC e informarlo al Ministerio de Ambiente. Una vez registrado el proyecto, debe procederse al monitoreo de la reducción de emisiones y su verificación por una tercera parte o DOE, como base para poder obtener los certificados de reducción de emisiones CER o Bonos de Carbono, para su comercialización. El precio de venta de los CER dependerá de las condiciones del mercado. En la página web del SIAC<sup>101</sup>, se encuentra la siguiente figura que ilustra el proceso para la obtención de los bonos de carbono:

**Figura 11** Ciclo de proyectos MDL



**Fuente:** SIAC<sup>102</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Tratándose de proyectos del sector energético, es importante advertir que a través de la Resolución 91304 de 2014, el Ministerio de Minas y Energía adoptó el factor marginal de emisión de GEI para los nuevos proyectos de generación eléctrica conectados al Sistema Interconectado Nacional SIN, como base para establecer la viabilidad de determinado proyecto en el mercado de carbono. Este factor fue actualizado por la UPME a través de la Resolución 804 de 2017.

### 2.6.8 Promoción a la generación distribuida

La Ley 1715 de 2014 consagra en su artículo octavo que el Gobierno nacional promoverá la autogeneración a pequeña y gran escala y la GD, definida en la misma ley como la producción de energía eléctrica, cerca de los centros de consumo, conectada a un SDL. Agrega esta ley que la capacidad de la generación distribuida se definirá en función de la capacidad del sistema en

<sup>101</sup> SIAC. Portafolio de Proyectos y Programas de Actividades del Mecanismo de Desarrollo Limpio [en línea]. Bogotá [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.siac.gov.co/climaticogei>>

<sup>102</sup> *Ibíd.*

donde se va a conectar, según los términos del código de conexión y las demás disposiciones que la CREG defina para tal fin.

Los mecanismos previstos en el mismo artículo octavo para efectos de la promoción de esta forma de generación de energía. Entre estos beneficios, se consagra que la energía generada por generadores distribuidos debe ser remunerada teniendo en cuenta los beneficios que esta trae al sistema de distribución donde se conecta, entre los que menciona las pérdidas evitadas, la vida útil de los activos de distribución y el soporte de energía reactiva, según la regulación que también corresponde expedir a la CREG.

La misma ley asignó al Ministerio de Minas y Energía la competencia para expedir, dentro de los doce meses, los lineamientos de política energética en materia de conexión y operación de la generación distribuida y establecer sus reglamentos técnicos. También, señala que corresponde a la CREG establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración distribuida. La regulación de la CREG vigente en relación con estas materias se encuentra contenida en la Resolución 080 de 2018, por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el SIN. Entre los aspectos que son objeto de regulación en esta resolución, se encuentran los siguientes:

- Define los parámetros que debe cumplir el generador distribuido para poder conectarse a un sistema de distribución local de tensión 1 (artículo 5.º). Para ello, exige a los OR disponer de la información requerida por el generador distribuido (artículo 6º).
- Establece procedimientos simplificados de conexión al STR y al SDL cuando la potencia instalada sea inferior o igual a 1 MW (artículos 10 y 11).
- Para efectos del sistema de medición, dispone que los generadores distribuidos deben cumplir con los requisitos establecidos para las fronteras de generación en el Código de Medida, incluidas la obligación de contar con el medidor de respaldo y la de la verificación inicial por parte de la firma de verificación de que trata el artículo 23 de la Resolución CREG 038 de 2014 o aquella que la modifique o sustituya (artículo 13).

En consecuencia, se entiende que, para efectos de la venta de la energía generada por un generador distribuido, se puede acudir a alguna de las alternativas que establece el artículo 15 de la Resolución 080 de 2018<sup>103</sup>.

---

<sup>103</sup> Artículo 15. Alternativas de Comercialización de la GD. Los GD podrán comercializar su exportación de acuerdo con las siguientes alternativas:  
Puede vender su generación de acuerdo con las reglas de comercialización establecidas en la Resolución CREG 086 de 1996 o aquellas que la modifican, adicionan o derogan.

### 3. PROTOTIPO DEL PROYECTO

De acuerdo con el alcance el estudio, el siguiente apartado de este documento desarrolla el diseño conceptual y análisis técnico, financiero y económico de un proyecto WTE a partir de las biomásas residuales en el municipio de Montería y la región del departamento de Córdoba (municipio seleccionado por la UPME). Para el área de estudio, se tomó como base el grupo de municipios que actualmente disponen sus residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario de Loma Grande (19 municipios). Además, se determinó la oferta de biomasa residual, usando la clasificación del *Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia* y se determinaron tres posibles tamaños de proyecto, para desarrollar una planta basada en digestión anaeróbica para la producción de biogás y generación eléctrica con inyección a la red (figura 12). El diseño conceptual acá propuesto incluye el análisis técnico, económico y financiero de los tres escenarios de tamaño de proyecto con el objetivo de identificar su viabilidad económica y cierre financiero, proponiendo así, el tamaño de mayor viabilidad.

---

Puede vender directamente al comercializador integrado con el operador de red. En este caso, el comercializador está obligado a comprarle la energía al generador distribuido y el precio de venta de las exportaciones se calculará aplicando la siguiente expresión:

$$PVgd_{h,m,n,i,j} = PB_{h,m} + Beneficios$$

$$Beneficios = 0.5 \times P_{n,m-1,i,j}$$

Donde,

$PVgd_{h,m,n,i,j}$ : Precio venta de la generación distribuida en la hora  $h$  del mes  $m$  en el nivel de tensión  $n$  al comercializador  $i$  en el mercado de comercialización  $j$ , en \$/kWh.

$PB_{h,m}$ : Precio de bolsa en la hora  $h$  del mes  $m$ , en \$/kWh, siempre y cuando no supere el precio de escasez ponderado. Cuando el precio de bolsa supere el precio de escasez de activación definido en la Resolución CREG 140 de 2017 o todas aquellas que la modifiquen o sustituyan, será igual al precio de escasez ponderado.

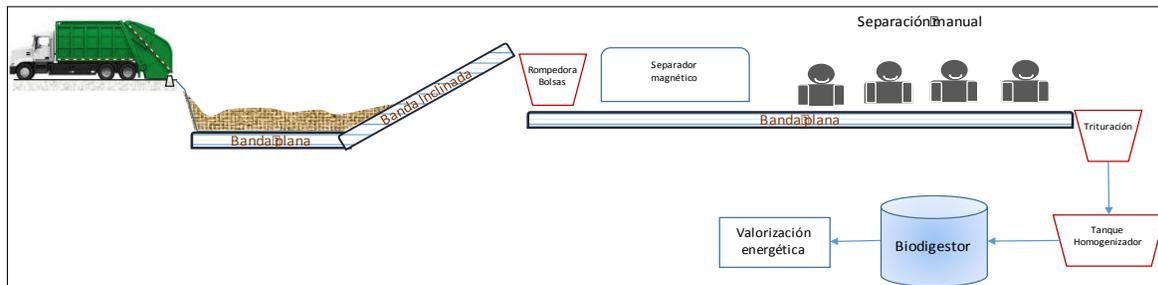
$P_{n,m-1,i,j}$ : Es igual al valor de las pérdidas técnicas en el sistema del OR  $j$  acumuladas hasta el nivel de tensión  $n$ :

$$P_{n,m-1,i,j} = \frac{G_{m-1,i,j} * PRTe_{n,j,t}}{1 - PRTe_{n,j,t}}$$

$G_{m,i,j}$ : Donde  $PRTe_{n,j,t}$  se calcula como se indica en el Anexo 1 de la presente resolución.  
Costo de compra de energía (\$/kWh) para el mes  $m$ , del Comercializador Minorista  $i$ , en el Mercado de Comercialización  $j$ , determinados conforme se establece en el Capítulo III de la Resolución CREG 119 de 2007.

*Beneficios*: Monto reconocido por los beneficios a los que contribuye la generación distribuida en la red de distribución SDL al cual esté conectada, debido a su ubicación cercana a los centros de consumo.

Figura 12 Proceso de generación de biogás y energía eléctrica



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018

### 3.1 Selección de tecnología WTE

De acuerdo con el tipo de biomasa disponible, tal como se presentó en el numeral 2.2.1, las tecnologías que se pueden seleccionar para su valoración se pueden agrupar en tecnologías basadas en procesos térmicos o biológicos. La transformación energética de la biomasa genera principalmente biocombustibles, a partir de los cuales se puede obtener calor, electricidad o fuerza motriz<sup>104</sup>. Dependiendo de las propiedades físico-químicas, bioquímicas y energéticas del residuo se puede realizar un determinado tipo de tratamiento y/o aprovechamiento energético. El tipo de proceso de tratamiento de la biomasa por procesos termoquímicos depende de factores como el contenido de humedad, el poder calorífico, la relación carbono/nitrógeno, el contenido de carbono fijo y volátil, el contenido de cenizas y los metales alcalinos presentes en el residuo<sup>105</sup>.

Los procesos de valoración por tecnologías térmicas son empleados cuando la biomasa presenta un alto poder calorífico (con bajo contenido de cenizas) y un bajo contenido de humedad. De acuerdo con un estudio del BM realizado en 2000<sup>106</sup>, técnicamente una planta WTE funciona con biomazas en las que el poder calorífico inferior debe promediar 7 MJ/kg (1.673 kcal/kg), y nunca debe ser inferior a 6 MJ/kg (1.434 kcal/kg). Igualmente, las tecnologías térmicas se emplean cuando el contenido de humedad de la biomasa es inferior al 30 %, ya que esta interfiere en la eficiencia del sistema o requiere secado previo que incrementa los costos del proceso.

En la tabla 12 se presenta el poder calórico de las biomazas en Colombia, donde se observa que las biomazas con más alto poder calórico son aquellas provenientes de la porcicultura (tecnificada) y del bagazo de caña de azúcar, así como las del cisco de café. Cabe resaltar que estos valores están medidos en masa seca, por lo cual la biomasa de porcicultura demandará

<sup>104</sup> MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 1): overview of biomass. *Óp. cit.*

<sup>105</sup> MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 2): Conversion technologies. *Óp. cit.*

<sup>106</sup> THE WORLD BANK. Municipal Solid Waste incineration A decision maker's guide. [en línea]. Washington, D.C.: 2000., p. 2 [citado en 2018-12-12]. Disponible en internet <http://siteresources.worldbank.org/INTUSWM/Resources/463617-1202332338898/incineration-dmg.pdf>.

un consumo importante de energía en el proceso ya que su contenido de humedad es superior al 67 %, y el bagazo por su parte tiene humedad inferior al 30 %, por lo cual es ideal para procesos térmicos.

**Tabla 12** Poder calórico inferior (PCI) de las biomásas

Nro.	Sector	Biomasa	PCI	
			kcal / Kg	MJ / Kg
<b>Pecuario</b>				
1	Avícola	Ponedoras	2.248	9,4
		Engorde	3.645	15,3
2	Porcícola	Tecnificado	6.049	25,3
		No tecnificado	4.163	17,4
3	Bovino	Leche	2.801	11,7
		Doble propósito	3.680	15,4
		Carne	3.783	15,8
<b>Agrícola</b>				
4	Palma de aceite	Cuesco	3.988	16,7
		Fibra	4.274	17,9
		Raquis	4.021	16,8
5	Caña de azúcar	Rac	3.684	15,4
		Bagazo	4.456	18,6
6	Caña de panela	Bagazo	4.456	18,6
		Hojas secas	4.007	16,8
		Rac	3.684	15,4
7	Café	Pulpa	4.259	17,8
		Cisco	4.430	18,5
		Tallos	4.384	18,3
8	Maíz	Rastrojo	3.429	14,3
		Tusa	3.390	14,2
		Capacho	3.815	16,0
		Hojas secas	4.274	17,9
9	Arroz	Tamo	3.113	13,0
		Cascarilla	3.603	15,1
10	Banano	Raquis	1.809	7,6
		Vástago	2.032	8,5
		Rechazo	2.488	10,4
11	Plátano	Raquis	1.808	7,6
		Vástago	2.032	8,5
<b>Urbano</b>				
12	RSU	Plaza de Mercado	3.772	15,8
		Centro de acopio	3.772	15,8
		Poda	3.772	15,8

**Fuente:** UPME<sup>107</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>107</sup> UPME, UIS, IDEAM y CEIAM. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia. Óp. cit.

Los procesos de valorización energética de residuos por tecnologías biológicas son empleados cuando la biomasa presenta un alto nivel de biodegradabilidad, con contenidos de humedad superiores al 50 %, donde la relación carbono/nitrógeno (C/N) se encuentra en el rango de 25 a 30, lo cual es ideal para procesos anaeróbicos de generación de biogás<sup>108</sup>. De acuerdo con la UPME, la biomasa residual del banano y plátano presenta contenidos de humedad superiores al 90 %, por lo cual se recomienda su aprovechamiento por procesos biológicos.

Asimismo, la biomasa bovina presenta humedades que oscilan entre el 71 % y 89 %, con una relación C/N entre 14 y 32, lo cual hace que los procesos biológicos sean muy adecuados para el aprovechamiento de este residuo. La biomasa de porcinos típicamente presenta humedad entre el 67 % y 75 %, con valores de la relación C/N entre 5 y 12, caracterizándose por ser rica en nitrógeno. Para este caso, es recomendable mezclar este tipo de biomasa con otra con una relación C/N más alta para alcanzar el rango óptimo para el proceso biológico.

La biomasa del sector avícola típicamente presenta una humedad entre el 56 % y 75 % (ponedoras) y una relación C/N de 9 a 13, por lo cual igualmente son ricos en nitrógeno. Al igual que el caso de la biomasa de porcino, para esta también es recomendable mezclarla con otro tipo de biomasa, con el fin de alcanzar el rango óptimo en la relación C/N para el proceso biológico. Por su parte, la fracción orgánica de los RSU típicamente presenta humedades entre el 84 % y 93 %, con relaciones C/N entre 15 y 19, por lo que se constituyen adecuados para procesos de valorización por procesos biológicos.

La tabla 13, la cual puede ser empleada como guía rápida para la selección del tipo de tecnología según el insumo por utilizar, presenta una serie de biomasa provenientes de diferentes sectores y la tecnología de aprovechamiento que mejor se adecua a las propiedades del insumo:

**Tabla 13** Tipo de tecnología más apropiada para los diversos tipos de biomasa

Nro.	Sector	Biomasa	Tecnología más empleada	
			Térmica	Biológica
<b>Pecuario</b>				
1	Avícola	Estiércol		X
2	Porcícola	Estiércol		X
3	Bovino	Estiércol		X
<b>Agrícola</b>				
4	Arroz	Paja	X	
5	Banano	Fruta rechazo		X
6	Café	Pulpa		X
7	Maíz	Caña	X	

<sup>108</sup> MINISTERIO DE ENERGÍA DEL GOBIERNO DE CHILE, PNUD, FAO y GEF. Manual de Biogás [en línea]. Santiago de Chile, 2011 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>>

Nro.	Sector	Biomasa	Tecnología más empleada	
			Térmica	Biológica
8	Palma de Aceite	Laguna oxidación	X	X
9	Plátano	Fruta rechazo		X
10	Caña de Azúcar	Bagazo	X	
11	Caña Panelera	Bagazo	X	
<b>Urbano</b>				
12	RSU	RSU		X
13	Lodos PTAR	Lodos		X
<b>Industrial</b>				
14	Lácteo	Grasas, lodos		X
15	Cervecería	Lodos		X
16	Destilería	Vinazas		X
17	Matadero	Rumen		X

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Para la selección del tipo de tecnología para desarrollar el diseño conceptual del prototipo de proyecto, se han tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Disponibilidad de la biomasa en forma casi permanente.
- Disponibilidad de otras biomásas que permitan preparar el sustrato requerido por la planta.
- Tecnología madura, muy conocida a nivel internacional y ya probada en el país.
- Flexibilidad en la comercialización de los productos (energía eléctrica, energía térmica, biocombustible).

Basado en los criterios anteriores, para efectos del presente estudio, el proyecto prototipo se desarrollará para proceso biológico sustentado en la degradación anaeróbica, tomando en cuenta lo siguiente:

- El país cuenta con RSU en todos los municipios del país de acuerdo con la caracterización realizada por la SSPD, los cuales tienen un alto potencial para la valorización por medio de procesos biológicos.
- Permitiría su ubicación en sitios destinados para la disposición final de residuos. En el capítulo 1 de este informe denominado «propuesta de priorización de selección de municipio para el desarrollo de un proyecto de generación de energía y generación de biogás a partir de residuos», se analizaron los municipios donde se podría ubicar el proyecto con base en este criterio.
- Dependiendo de su ubicación específica, se podría contar con otros tipos de biomásas como lodos de tratamiento, biomásas agrícolas o pecuarias que se podrían emplear para obtener el rango óptimo de relación C/N requerido por el proceso y aumentar la disponibilidad de sustrato.

- Las tecnologías basadas en procesos biológicos son bastante aplicadas, y pueden ser fácilmente adaptables a Colombia.
- La tecnología permite flexibilidad en la comercialización del biogás generado; dicho de otra forma, puede ser comercializado directamente a través de la red, gas vehicular o se puede emplear como fuente de combustible para otros usos (calor, electricidad o cogeneración).

### 3.2 Selección del sitio del proyecto

La selección del municipio partió de una propuesta de priorización, que contempló criterios de exclusión y criterios de factibilidad. Los criterios de exclusión incluyeron la producción de residuos, la conectividad municipal vial, la vida útil de los sitios de disposición final y la proximidad a aeropuertos. Los criterios de factibilidad examinados fueron la vida útil del sitio de disposición final, la altura sobre el nivel del mar, la precipitación, la presencia de esquemas de separación y reciclaje de residuos, la producción de residuos, el potencial energético de la biomasa residual disponible y la facilidad del proyecto para acceder a financiamiento. Como resultado de este proyecto, se identificaron 19 municipios con la posibilidad de implementar el proyecto, resaltando Medellín, Cali y Montería.

Finalmente, por definición de la UPME, se selecciona Montería como el municipio de Colombia donde se desarrolla el diseño conceptual de la planta que acá se presenta. La propuesta de selección de la ubicación del proyecto se originó de un análisis en una escala regional y, posteriormente, a una escala local centrada en la cabecera municipal de Montería. Los resultados serán presentados a continuación.

#### 3.2.1 Selección del sitio a escala regional

Para priorizar la instalación de la planta WTE en Montería, se utilizó la cartografía de fuente principalmente del IGAC, el corte de la zona de influencia del relleno sanitario Loma Grande que afecta a los siguientes municipios (tabla 14 y figura 13):

**Tabla 14** Municipios en zona de influencia del relleno sanitario Loma Grande

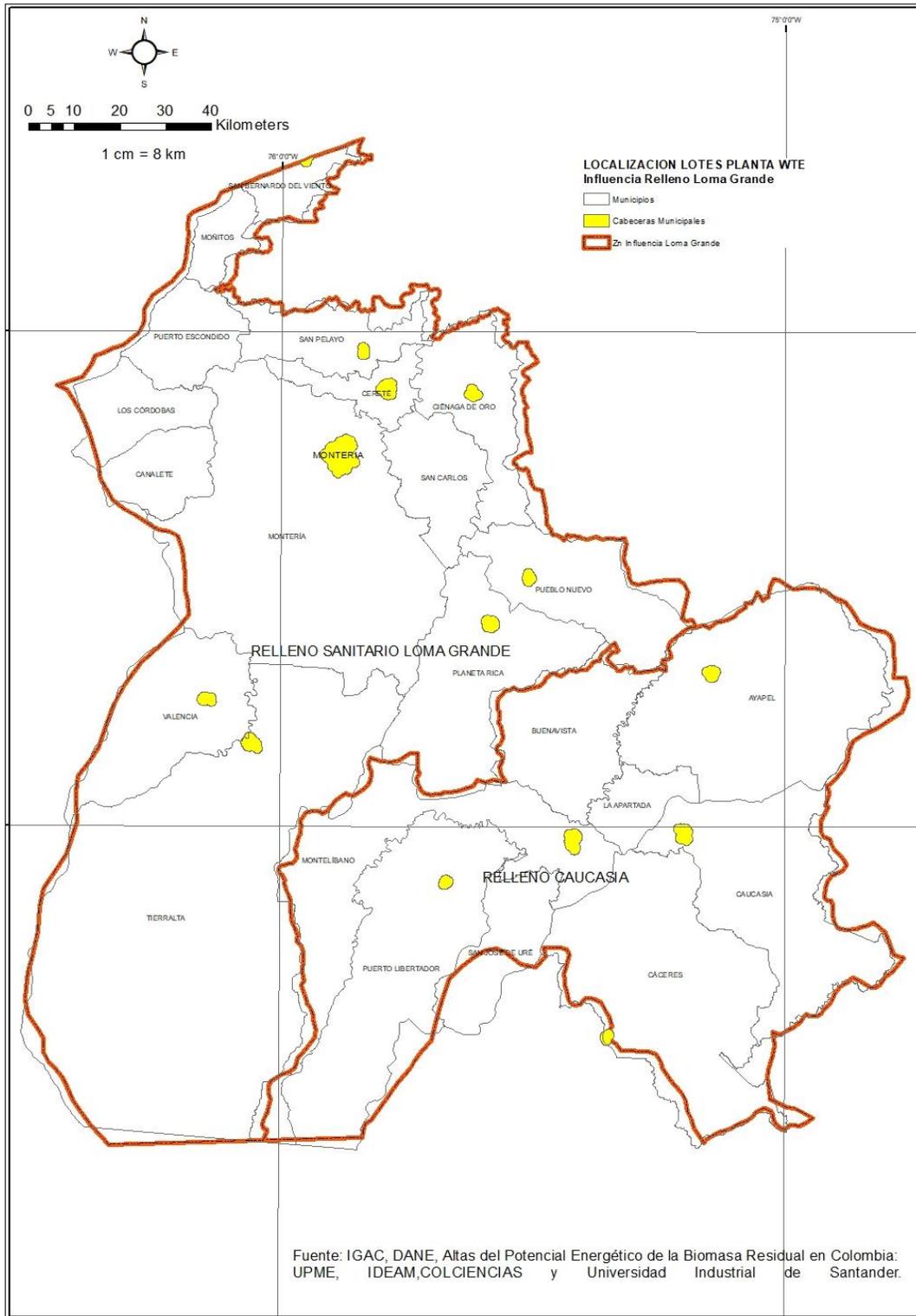
Nombre del departamento	Nombre del municipio	Población	Urbana	Rural	Distancia km a Loma Grande
Antioquia	Cáceres	41.021	9.718	32.394	181
Antioquia	Caucasia	120.479	102.753	20.551	183
Córdoba	Montería	460.082	362.757	103.242	27
Córdoba	Ayapel	54.144	28.845	26.275	136
Córdoba	Buenavista	22.459	8.850	13.861	102
Córdoba	Canalete	23.028	4.535	18.985	45
Córdoba	Cereté	93.713	54.923	39.432	20

Nombre del departamento	Nombre del municipio	Población	Urbana	Rural	Distancia km a Loma Grande
Córdoba	Ciénaga de Oro	67.934	27.972	41.172	41
Córdoba	La Apartada	16.046	14.112	2.203	133
Córdoba	Los Córdoba	25.947	5.236	21.469	64
Córdoba	Montelíbano	86.858	70.290	18.384	99
Córdoba	Moñitos	28.708	7.368	21.749	84
Córdoba	Planeta Rica	68.810	43.944	25.341	70
Córdoba	Pueblo Nuevo	40.911	16.482	25.202	73
Córdoba	Puerto Escondido	31.834	5.563	27.182	69
Córdoba	Puerto Libertador	52.371	22.426	31.564	117
Córdoba	San Bernardo del Viento	35.874	9.611	26.589	80
Córdoba	San Carlos	28.236	6.083	22.514	17
Córdoba	San José de Ure	11.549	5.991	5.751	135
Córdoba	San Pelayo	44.972	8.659	36.737	39
Córdoba	Tierralta	107.302	48.886	60.884	136
Córdoba	Valencia	45.926	17.060	29.837	96

Fuente: DANE<sup>109</sup>. INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>109</sup> Departamento Administrativo Nacional Estadístico (DANE). Censo-2018. Óp. cit.

Figura 13 Localización lotes planta WTE – influencia relleno sanitario Loma Grande

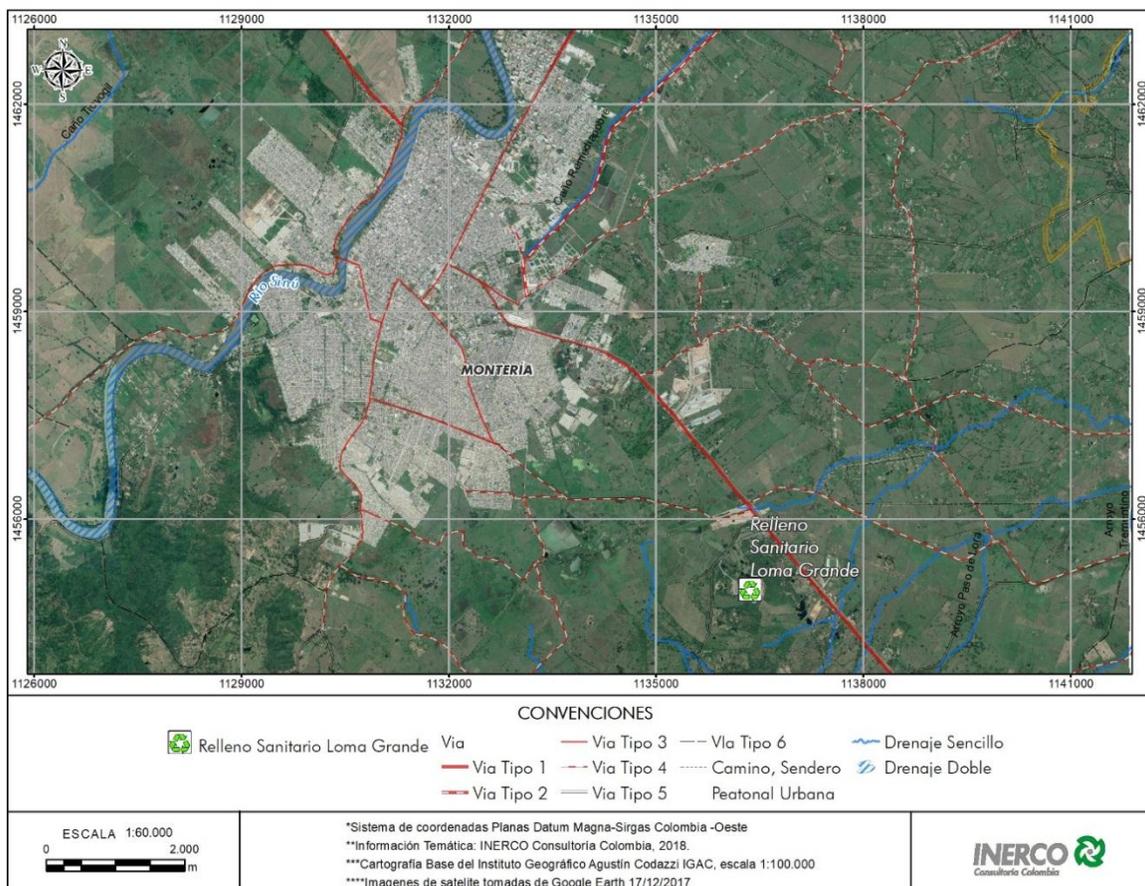


Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Basados en la localización del Relleno Loma Grande, se determinaron los criterios de priorización para la ubicación de la planta WTE en Montería, por lo cual se georreferencia el sitio de disposición de residuos actual (relleno sanitario Loma Grande) (figura 14 y figura 15), y sobre una ventana de 10 km alrededor del sitio, se ubican áreas que cumplen los siguientes criterios:

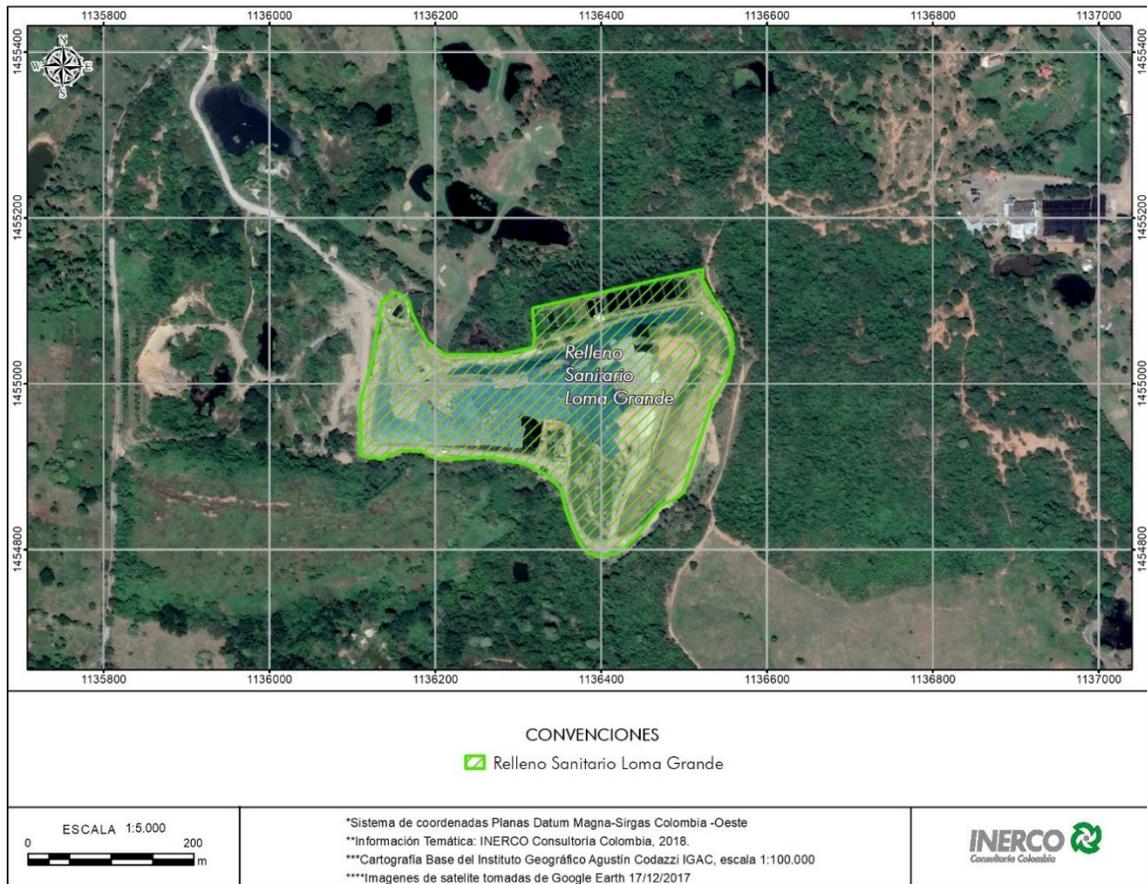
- a) Distancia de 0 km a 4 km sobre vía pavimentada,
- b) áreas a un 1 km alrededor del perímetro urbano de Montería y 500 m de centros poblados,
- c) restricción áreas de rondas hídricas usando un buffer de 50 metros sobre cuerpos de agua natural (ríos, lagos y humedales),
- d) restricción a áreas montañosas con pendientes superiores al 25 %,
- e) restricción de áreas protegidas (áreas registradas en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas),
- y
- f) restricción de áreas a 60 m a lado y lado de fallas geológicas.

**Figura 14** Localización del relleno sanitario Loma Grande del municipio de Montería



Fuente: Google Earth. INERCO Consultoría Colombia, 2018.

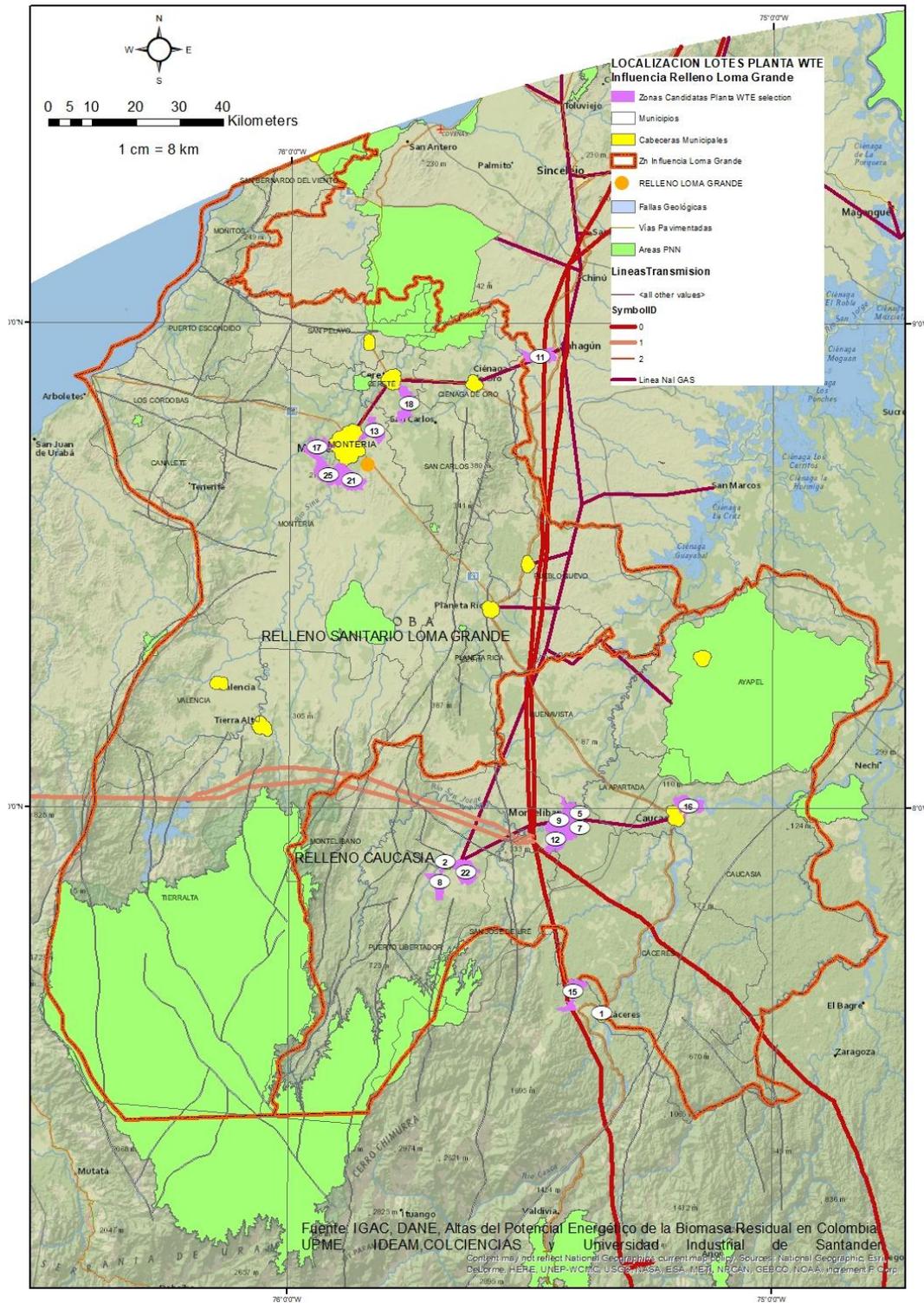
Figura 15 Ubicación del relleno sanitario Loma Grande



Fuente: Google Earth. INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De acuerdo con los criterios en mencionados, en la figura 16 se evidencia los lotes priorizados para la planta WTE.

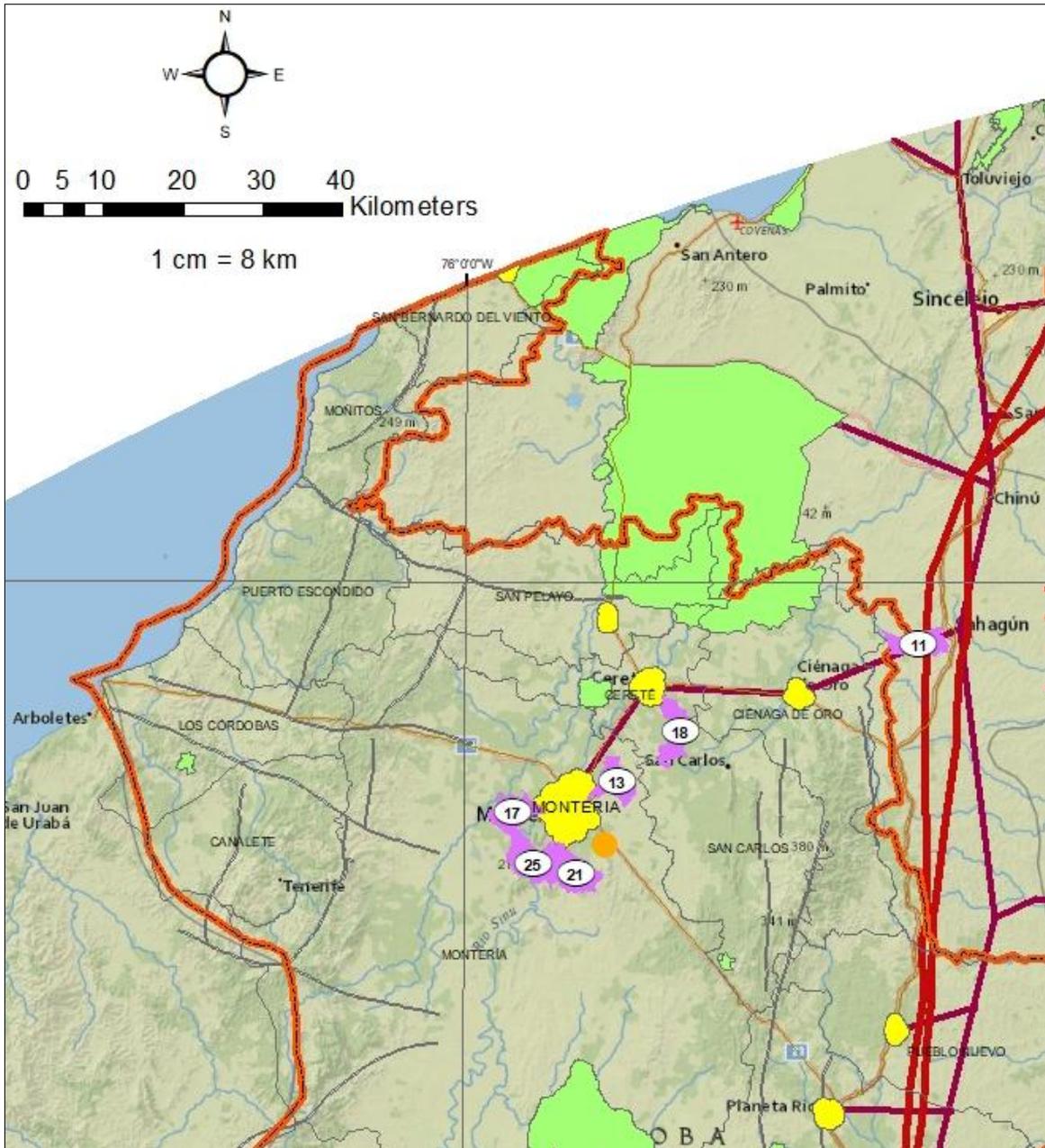
Figura 16 Localización de áreas prioritizadas para la planta WTE



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Se tiene en cuenta que de acuerdo con el modelo Montería, se requiere una extensión de 2 ha a 6 ha para los tres escenarios de proyecto de Montería analizados (para 550, 2.000 y 3.500 t/día de sustrato). En ese sentido, a continuación se presentan las áreas candidatas determinadas (figura 17 y tabla 15).

Figura 17 Áreas candidatas priorizadas



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Tabla 15** Áreas candidatas

ID	Municipio	Área ha
11	Sahagún	1.887,5
13	Montería	1.977,2
17	Montería	2.102,4
18	Cereté	2.123,4
21	Montería	2.214,9
25	Montería	2.859,9

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.2.2 Selección del sitio a escala local

Una vez conociendo las posibles ubicaciones del proyecto a escala regional, se procedió a identificar una a escala local en el municipio de Montería. Dentro del procedimiento para la ubicación del sitio, se estableció un procedimiento práctico de la siguiente manera:

- Cartografía para determinar las restricciones ambientales y urbanísticas:
  - Revisión de las áreas del sistema de áreas protegidas y de la estructura ecológica principal para la ubicación para descartar aquellas que tengan restricciones.
  - Revisión de cartografía del POT vigente en el municipio para determinar las zonas con uso compatible del suelo para una posible implementación del proyecto industrial WTE.
- Acercamiento con actores clave de la Alcaldía de Montería (programa Ciudad Verde) y el proyecto Ciudad Energética para conocer su apreciación sobre el proyecto WTE propuesto y su posible ubicación.

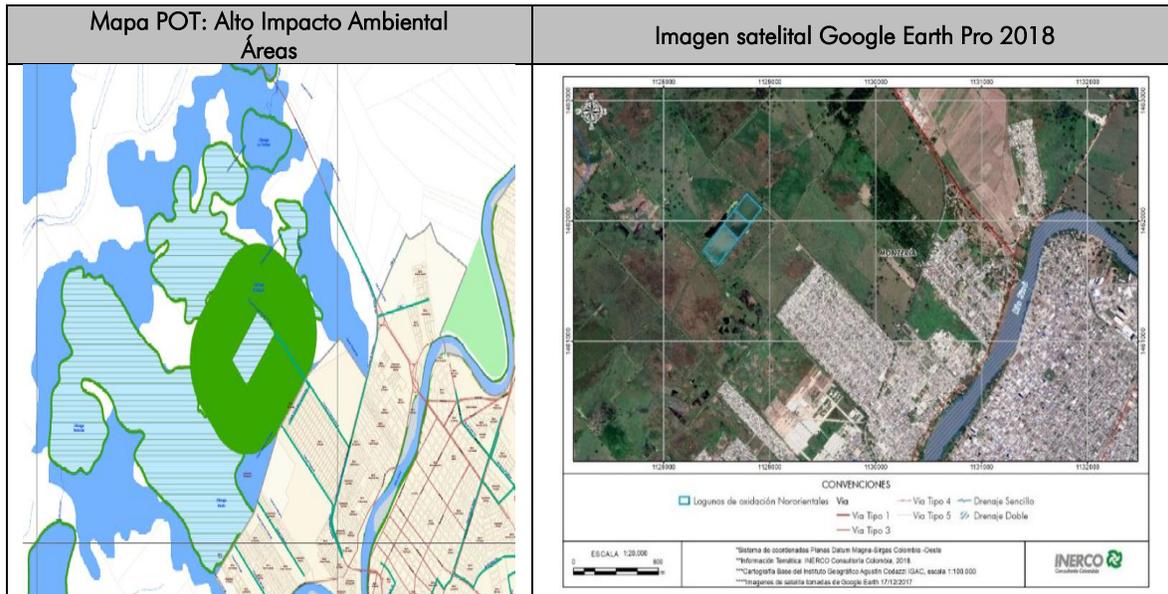
Como resultado del análisis, se identificaron áreas que pueden servir para la implementación del proyecto en los alrededores de la Planta de tratamiento de aguas residuales al sur de Montería, dentro de la Franja Forestal Protectora, donde funciona la PTAR y la Subestación eléctrica Nueva Montería. El resultado de la revisión se presenta a continuación:

#### 3.2.2.1 Revisión del POT y restricciones ambientales

- **Áreas aledañas a lagunas de oxidación nororiental**

Dentro de la figura 18 se observa en color verde el perímetro alrededor de la planta de tratamiento de aguas residuales nororiental, en lagunas de oxidación. El perímetro corresponde a la Franja Forestal Protectora que tiene por objeto aislar la infraestructura de tratamiento de otros usos como ganadero, urbano, y agrícola.

Figura 18 Uso del suelo alrededor de las lagunas de oxidación nororientales

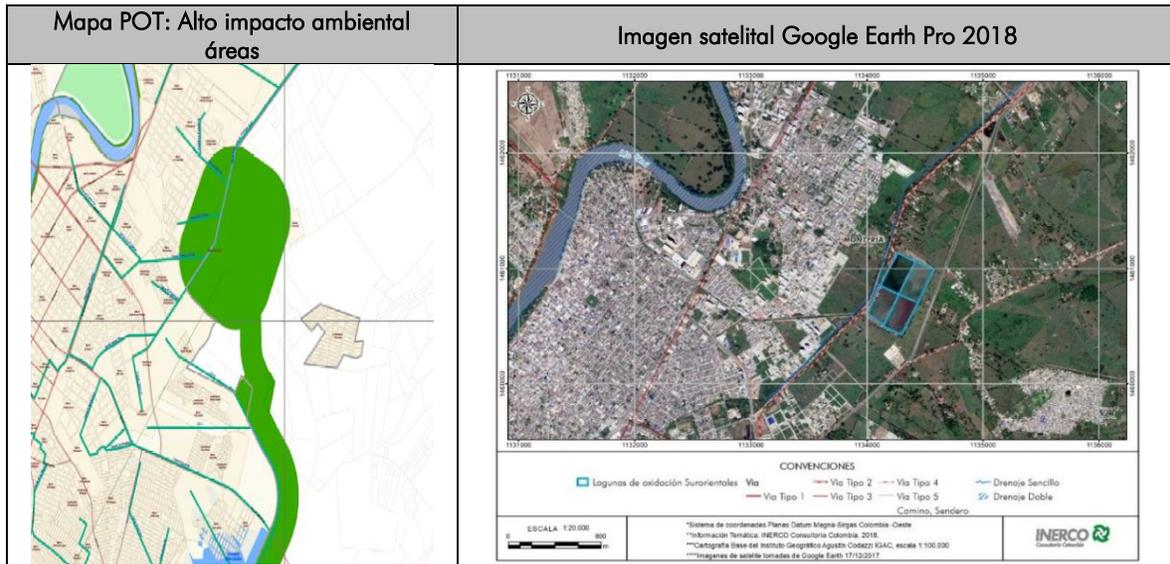


Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

- **Áreas aledañas a la laguna de oxidación suroriental**

Las lagunas de oxidación suroriental tienen un perímetro o franja de protección forestal como aislamiento del impacto ambiental que restringe el desarrollo de proyectos urbanísticos y agropecuarios. Dentro de la franja de protección está ubicada la subestación eléctrica Nueva Montería con 110 kV y 1,5 km de línea de distribución a 110 kV, que tiene una capacidad de transformación de 200 MVA, con la que se podría administrar y conectar la energía producida por el proyecto de generación eléctrica de biomasa residuales.

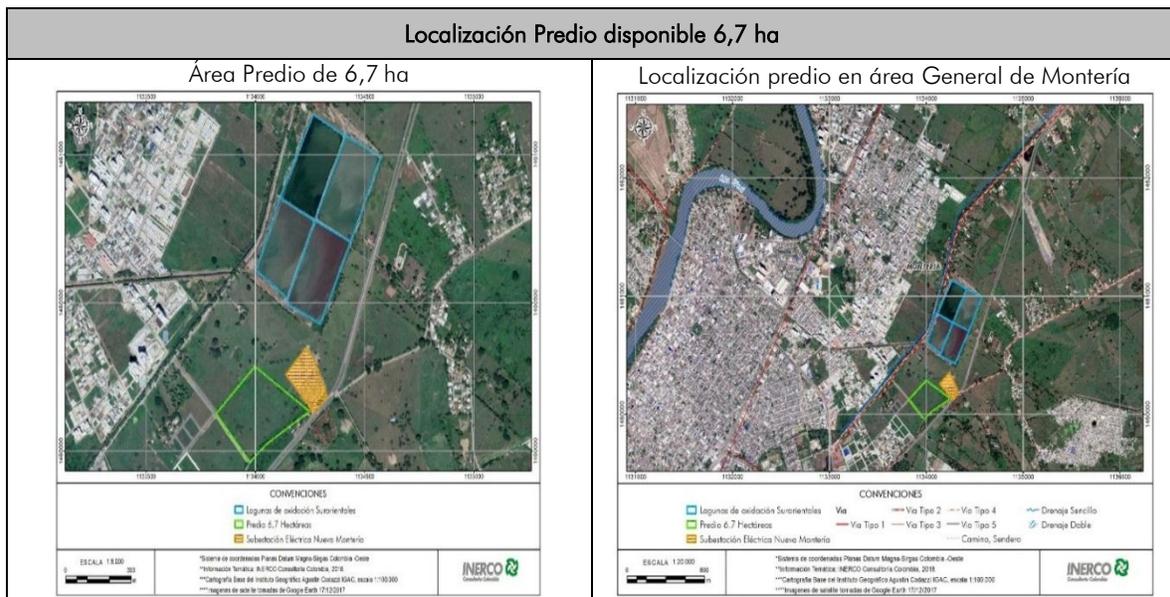
Figura 19 Uso del suelo alrededor de las lagunas de oxidación surorientales



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Dentro de la franja forestal protectora, donde se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales suroriental y la subestación eléctrica, se puede observar que existe un predio de 6,7 ha en donde se podría implementar la planta de valorización de energética de residuos para Montería.

Figura 20 Posible ubicación del proyecto WTE para Montería



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.2.2.2 Conclusiones de la selección del sitio

- Se examinaron áreas en los corredores entre Montería, y Cerete y Arboletes, en donde se observó que las áreas tienen una vocación agropecuaria, lo que restringe el uso de este suelo para proyectos de infraestructura para valorización energética de residuos sólidos y biomasa.
- Las áreas o zonas industriales disponibles dentro de la franja protectora forestal, por la vía saliendo de Montería hacia Planeta Rica, podrían ser unas áreas con uso permitido, pero se encuentran entre 4 km y 7 km de la subestación eléctrica.
- Las áreas alrededor del relleno sanitario Loma Grande de Montería podrían ser consideradas disponibles, pero en promedio están a 5 km de la subestación eléctrica.
- Los predios de las escombreras por la salida a Planeta Rica podrían ser aptos para la implementación, pero su distancia hacia la subestación eléctrica es de 7,5 km.
- Las áreas dentro de la franja forestal de protección, aledaños a la subestación eléctrica, están a 100 m, lo que permiten tener los siguientes beneficios: (i) cercano a la PTAR de Montería suroriental, lo cual podría facilitar la recepción de lodos de PTAR o el biogás que se puede generar con la transformación de la PTAR a un sistema más eficiente sin laguna facultativa, y (ii) cercano a la subestación eléctrica Nueva Montería que permite reducir los costos de la transmisión, pérdidas de energía y facilidades de interconexión.
- En síntesis, esta consultoría considera pertinente recomendar que el área dentro de la franja de protección forestal, y que coincide con la zona de restricción de 500 m alrededor de la Laguna de Estabilización PTAR norte-oriental, es la que mejores características presenta para la implementación del proyecto de biogás de biomasa residual con fines energéticos WTE.

### 3.2.3 Descripción técnica general del sitio seleccionado

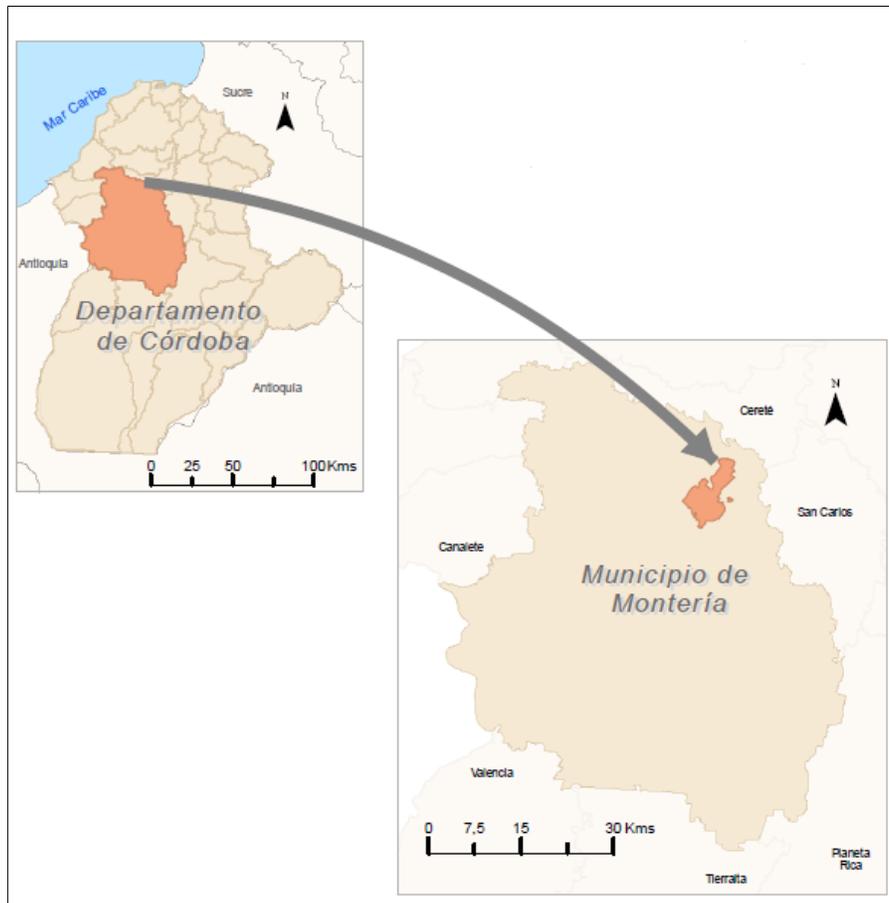
#### 3.2.3.1 Aspectos geográficos

Montería, capital del departamento de Córdoba, está situado al Noroeste del país a orillas del río Sinú en la región Caribe colombiana; al norte con los municipios de Cereté, Puerto Escondido y San Pelayo; al este con San Carlos y Planeta Rica; al sur con Tierralta y Valencia, y al oeste con el departamento de Antioquia y los municipios de Canalete y Los Córdoba (figura 21). Asimismo, el municipio se encuentra dividido en 27 corregimientos, 168 veredas y 9 unidades espaciales de funcionamiento (UEF) y la cabecera municipal, la cual, a su vez, está conformada por 9 comunas y 5 piezas urbanas con un total de 207 barrios<sup>110</sup>. La extensión total del municipio es de 3.043 km<sup>2</sup>, y su topografía es básicamente plana con elevaciones menores. La parte occidental está cruzada por la serranía de Las Palomas; numerosos caños y riachuelos surcan la ciudad, siendo la principal fuente hídrica el río Sinú. Con una altitud de 18 m s. n. m., Montería

<sup>110</sup> FINDETER S.A. Plan de Acción 2032. Montería Sostenible de cara al Río Sinú [en línea]. 2015 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://issuu.com/findetersa/docs/monteria\\_baja](https://issuu.com/findetersa/docs/monteria_baja)>

presenta un clima cálido seco con una estación seca y otra lluviosa a lo largo del año, aunque la temperatura media es de 28 °C, en ocasiones aumenta a temperaturas superiores a 40 °C<sup>111</sup>.

**Figura 21** Localización de la ciudad de Montería en el departamento de Córdoba



Fuente: POT 2002-2015<sup>112</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.2.3.1 Aspectos físico-bióticos

#### A Geología y geomorfología

El municipio de Montería se encuentra en una zona de morfología plana, cuyas características geológicas corresponden a depósitos aluviales de la parte baja del valle del río Sinú. Los depósitos aluviales están constituidos básicamente por arcillas, limos y arenas finas, materiales

<sup>111</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT; proceso de revisión y ajuste 2002-2015. Capítulo II. Formulación p. 221.

<sup>112</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT. [en línea]. Proceso de revisión y ajuste 2002-2015. [citado en 2018-10-12]. Capítulo II. Formulación p. 22. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/informacion/>>

que son poco permeables y facilitan los encharcamientos en épocas de lluvia y en los periodos secos se agrietan.

Según el POT de Montería para vigencia 2012-2015, las unidades de rocas en el municipio de Montería son afines a dos elementos estructurales denominados Cinturón del Sinú y Anticlinario de San Jerónimo, en los que se distinguen sedimentos terciarios y depósitos cuaternarios de diversa índole. Geomorfológicamente, en Montería se identifican tres grandes unidades: colinas estructurales denutativas, superficie de aplanamiento y llanura aluvial. Estas formaciones están asociadas con las formaciones geológicas San Cayetano Superior, San Cayetano Inferior, La Tampa, Ciénaga de Oro, Pajuil, Corpa, Marralú y Florensanto, y los paisajes se encuentran asociados son espinosas, pliegues y colinas. En municipio de Montería pertenece a las unidades de paisaje de planicie y piedemonte<sup>113</sup>.

## B Suelos

En cuento a los suelos del municipio de Montería, según la información del POT, existen cuatro áreas principales (tabla 16):

**Tabla 16** Áreas de las Unidades de Manejo

Unidad de manejo	Área (km <sup>2</sup> )	Hectáreas (ha)	Potencialidades
Unidad de Buenos Aires	1.140,256	114.025,6	Suelos para especies forestales bajo coberturas densas y de bajo crecimiento. Las labores en esta unidad, más que de interés económico, deben ir encaminadas a la conservación del suelo.
Unidad Morindó	614,400	61.440,0	Aptos para ser explotados en cultivos como plátano, ñame, yuca, maíz y pastos mejorados desempeñan un papel fundamental en la conservación de los suelos a los procesos erosivos.
Unidad Las Palomas	586,287	58.628,7	Las condiciones actuales de estos suelos los hacen viables para la explotación de cultivos como arroz, yuca, ñame (bajo sistemas de caballones), algodón, maíz, piña y hortalizas.
Unidad de Montería	506,198	50.619,8	Suelos en la gran mayoría de origen aluvial, con basta influencia del río Sinú, son suelos con pendientes (1 % – 3 %), y donde se encuentra el mayor asentamiento de la actividad agropecuaria a nivel tecnificado del municipio. Desde el punto de vista fisicoquímico, son los mejores suelos del municipio, sus condiciones los hacen aptos para la mayoría de los cultivos.

Fuente: POT 2002-2015<sup>114</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>113</sup> AUTOPISTAS DE LA SABANA S. A. y AUDYSA LTDA. Prospección de dos corredores viales de Montería Córdoba [en línea]. Medellín, 2009. pp. 7-8 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://biblioteca.icanh.gov.co/DOCS/MARC/texto/ARQ-1453.pdf>>

<sup>114</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT. [en línea]. Proceso de revisión y ajuste 2002-2015. [citado en 2018-10-12]. Capítulo II. Formulación p. 221. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/informacion/>>

La mayor parte del suelo en Montería es de tipo rural, lo que puede constituir un gran potencial para el desarrollo agrícola y pecuaria en vista que el suelo se encuentra destinado a la siembra de pastos, representado en pastos artificiales/maleza. En la tabla 17, se define la limitación de la clasificación del territorio (suelo urbano, rural, protegido, suburbano y de expansión).

**Tabla 17** Distribución del área del municipio de Montería

Área	ha	%
Suelo urbano	4.177	1,30
Suelo de expansión	659	0,21
Suelo suburbano	3.003	0,94
Suelo rural	250.184	77,99
Suelo protegido	62.438	19,46
<b>Total municipio</b>	<b>320.782</b>	<b>100</b>

Fuente: POT 2002-2015<sup>115</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

## C Hidrografía y clima

Montería está surcada por numerosos caños y riachuelos, y su principal fuente hídrica es el río Sinú. El sistema dentro del municipio se encuentra integrado por más de 47 cuerpos de agua (sistemas lenticos), entre ciénagas y complejos de ciénagas. Las acciones de manejo del sistema hidrográfico del municipio, compuesto por la cuenca del río Sinú y sus microcuencas, están encaminadas a la conservación, la protección y el ordenamiento de las áreas y elementos naturales que lo conforman. Estas acciones se ejecutan mediante la regulación de usos del suelo compatibles y tratamientos especiales tendientes a la preservación y recuperación de cuencas, fuentes y corrientes naturales de agua. Igualmente, sus elementos constitutivos forman parte de los suelos de protección del municipio<sup>116</sup>.

El clima del municipio es cálido tropical con una estación de sequía y una de lluvias a lo largo del año. La temperatura promedio anual de la ciudad es de 28 °C con picos superiores a 40 °C. La humedad relativa promedio es de 78 %. Montería es clasificada dentro de un bosque húmedo tropical y bosque seco tropical<sup>117</sup>.

## D Ecosistemas estratégicos

El municipio de Montería goza de una amplia variedad de biomas o macroecosistemas dentro de los cuales se tienen: humedales, serranías con bosques, planicies con bosque seco tropical,

<sup>115</sup> *Ibid.*, p. 46.

<sup>116</sup> MINISTERIO DE TRABAJO y PNUD. Perfil Productivo Municipio de Montería. RED OMERT [en línea]. Bogotá, 2013 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil\\_productivo\\_municipio\\_monter\\_](https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_municipio_monter_)>

<sup>117</sup> *Ibid.*

planicies con pastos, bosques ribereños, cursos de ríos y quebradas, que a su vez presentan playones en el cauce principal del río Sinú<sup>118</sup>. En la zona urbana y sus límites respectivos se localizan diversas ciénagas, entre ellas: Tiogil, Sierra Chiquita, Araújos, Reparo, Berlín, Villa Caribe y Villa Jiménez, principalmente. Una de las ciénagas más representativas del municipio es la Jeraquiel y Bentancí, que encuentra en la región del Sinú Medio en el municipio de Montería; posee un área de 120 km<sup>2</sup> y recibe el caudal de las quebradas Betancí, Neque y León.

En la tabla 18 se representa las áreas de significancia ambiental establecidas en plan de ordenamiento territorial del municipio de Montería:

**Tabla 18** Áreas de significancia ambiental

Categoría	ha
Área de conservación y manejo	133,221
Área de conservación natural	25.455,595
Reserva forestal	25.309,410
Parque regional natural	1.753,560
Distrito regional natural	1.508,373
Reserva de manejo integrado	871,034
Reserva natural de la sociedad civil	3.025,759

**Fuente:** POT 2002-2015<sup>119</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Aunque la riqueza ecosistémica es importante, hay deterioros progresivos que han llevado a la desaparición de un 50 % aproximadamente de las 48 ciénagas citadas en el POT de Montería 2002; de igual forma, los sectores de colinas que forman parte de la zona urbana y de la periferia de la ciudad han cambiado su estructura forestal, para dar paso al crecimiento de las urbanizaciones y las actividades agropecuarias<sup>120</sup>.

### 3.2.3.2 Aspectos socioeconómicos

La población total proyectada por el DANE en 2018 para el municipio de Montería es de 460.082 habitantes, de los cuales el 77,7 % vive en el casco urbano y 22,3 % en la zona rural<sup>121</sup>, confiriéndole a Montería uno de los primeros puestos a nivel nacional en población rural. La población de Montería crece a un ritmo elevado comparado con el promedio nacional con una

<sup>118</sup> SARMIENTO, Yonatan. Sinú Montería, centro cultural y artístico [en línea]. Tunja: Universidad Santo Tomas. p. 25 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13911/2018sarmientoyonatan.pdf?sequence=1&isAllowed=1>>

<sup>119</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT; proceso de revisión y ajuste 2002-2015. Capítulo II. Formulación.

<sup>120</sup> *Ibíd.*

<sup>121</sup> DANE. Censo nacional de población y vivienda 2018-Colombia. [en línea]. [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://censo2018.dane.gov.co/index.php/>>

densidad poblacional de 151,19 hab./km<sup>2</sup>; mientras, el 4,12 % de la población residente en Montería se autoreconoce como indígena y negra, mulata o afrocolombiana <sup>122</sup>.

Además, es conocida como la capital ganadera de Colombia, debido a que su economía se basa principalmente en la ganadería y la agricultura. Otras actividades que contribuyen al crecimiento de su PIB, pero en menor proporción son: minería, y recurso forestal, piscícola, avícola y porcino. El cultivo de productos agrícolas tales como la yuca, el ñame, plátano, arroz, maíz, sorgo y algodón contribuyen al incremento de su economía, alentada por la fecundidad de sus suelos <sup>123</sup>.

El sector ganadero es económicamente el más importante del municipio. Esta actividad abarca la mayor cantidad de terreno, y genera la más alta producción en el departamento. Entre los objetivos productivos predomina el doble propósito (carne y leche), mediante el manejo genético y cruce de las razas, y ganado de carne y ganado de leche. Además, los suelos de todo el Sinú son catalogados como los terceros más fértiles del mundo, pero son ocupados principalmente por la ganadería que es la actividad tradicional de la región <sup>124</sup>.

### 3.2.3.3 Gestión de riesgo de desastres

A partir de información en el IDEAM y SGC-2016 suministrada por el DANE, en Montería el 25,70% (81.001 ha) del área es amenazada por fenómenos hidrometeorológicos.

Asimismo, a partir de la información en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-2017, en el municipio de Montería se identifican tres tipos de eventos de desastres: por movimientos en masa (3,85%), por incendios forestales (7,69%) y por inundación (88,46%), dando un total de 52 eventos de desastres.

De acuerdo con la información reportada en el POT del municipio (tabla 19), la amenaza alta corresponde aproximadamente a un 30 % del territorio (1.269 ha), y se distribuye en áreas de planicies inundables, pantanos y ciénagas, barrios que manifiestan encharcamientos con periodicidad anual en la temporada de lluvias, y en los sectores aledaños a canales que sufren desbordes. Se localizan estos sectores al suroriente y occidente de Montería y deben ser considerados en los procesos de formulación como zonas de conservación o recreación pasiva, evitando cualquier otro uso del suelo.

<sup>122</sup> MINISTERIO DE TRABAJO y PNUD. Perfil Productivo Municipio de Montería. RED OMERT. Óp. cit.

<sup>123</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Demografía y población Montería. [en línea]. 2018. Disponible en internet: < <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles> >

<sup>124</sup> LA GUÍA DE MONTERÍA. Alcaldía – Información Básica [en línea]. 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.laguiaomonteria.co/informacion-basica/>>

**Tabla 19** Susceptibilidad de amenazas

Categoría	Área (ha)
Alta susceptibilidad	1.269,59
Moderada susceptibilidad	1.342,41
Baja susceptibilidad	1.565,49
<b>Total</b>	<b>4.177,41</b>

Fuente: POT 2002-2015<sup>125</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Los principales riesgos de desastre identificados en Montería están asociados con la inundación fluvial y pluvial, y los deslizamientos que se presentan en la zona del Cerro, agravados por el cambio climático y la localización de viviendas e infraestructura en zonas de riesgo no mitigable y en sectores que, en su momento, debieron haberse reservado para la protección de ecosistemas y amortiguación (ronda hidráulica en el caso del río) y zonas de humedales que han sido rellenadas o drenadas<sup>126</sup>. La CVS, en su *Informe sobre las amenazas de erosión fluvial e inundaciones en la cuenca del río Sinú*, identificó 33 puntos críticos en Jurisdicción del municipio de Montería, 4 de ellos en grado alto de erosión. Sobre estas zonas se genera vulnerabilidad a inundaciones, debido a que son propensas al desbordamiento río Sinú<sup>127</sup>.

Del área total del municipio, el 9,7 % es afectada por inundación, esto debido a que Córdoba tiene una gran variedad de afluentes y el río Sinú, que es el más importante, atraviesa todo el departamento de Sur a Norte y este presenta desbordamiento a todo lo largo de su cauce. Otra amenaza recurrente son los vendavales que también se presenta en casi todas las subregiones; sin embargo, estas son más localizadas y se presentan en zonas pobladas. Los incendios forestales se presentan en mayor medida en las subregiones del medio Sinú y bajo Sinú, generalmente están relacionados con las prácticas de quemas sin ningún control y las sequías que se presentan en mayor medida en la subregión del bajo Sinú y sabana<sup>128</sup>. En la tabla 20 se representa en más detalle los escenarios posibles de riesgo para el municipio de Montería:

**Tabla 20** Identificación de escenarios de riesgo

Identificación de escenarios de riesgo según el criterio de fenómenos amenazantes	
Escenarios de riesgo asociados con	Riesgo por:

<sup>125</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT. [en línea]. Proceso de revisión y ajuste 2002-2015. [citado en 2018-10-12]. Capítulo II. Formulación. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/informacion/>>

<sup>126</sup> FINDETER S.A. Plan de Acción 2032. Montería Sostenible de cara al Río Sinú. Óp. cit.

<sup>127</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Informe Recursos Naturales y Medio Ambiente Municipio de Montería [en línea]. Montería, 2017 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/2018/informacion/planes/Informe%20recursos%20naturales%202017.pdf>>

<sup>128</sup> GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA. Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Córdoba [en línea]. Montería. pp. 59-60 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/367/PDGR%20Cordoba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

Identificación de escenarios de riesgo según el criterio de fenómenos amenazantes	
fenómenos de origen hidrometeorológico	<p>a) <b>Inundaciones:</b> que se presentan en el municipio son causadas por fuertes precipitaciones, lo que conlleva al represamiento de aguas lluvias en los barrios y corregimientos ubicados en las zonas bajas, y desbordamientos de las ciénagas, caños, riachuelos y el río Sinú. Las inundaciones se presentan por factores de desbordamiento de los cauces, anegamiento y socavación de los taludes.</p> <p>b) <b>Vendavales:</b> generalmente causan caídas de árboles y destechamiento especialmente en la zona conocida como «el cerro» (Sierra Chiquita), y en la zona rural del municipio.</p> <p>c) <b>Sequías:</b> originadas especialmente por la reducción de lluvias afectando especialmente la zona rural dispersa, donde las fuentes de agua bajan su cauce, presentando escases del preciado líquido.</p>
Escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen geológico	<p>Riesgo por:</p> <p>a) <b>Movimientos en masa:</b> se han presentado deslizamientos en la zona conocida como «El Cerro» (Sierra Chiquita – Zona Urbana) ubicada al sur de la ciudad, producto de la erosión antrópica.</p> <p>b) <b>Sismos:</b> se han presentado esporádicamente con intensidades muy bajas. La Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR 2010 ubica a Montería en una zona intermedia.</p>

Fuente: Alcaldía de Montería<sup>129</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.2.3.4 Servicios públicos domiciliarios

En el municipio de Montería existen coberturas relativamente altas en la prestación de los servicios públicos domiciliarios en acueducto (85,2%), alcantarillado (44,5%), gas natural y disposición final de residuos sólidos. En la zona urbana del municipio la operación del sistema se encuentra a cargo de la empresa PROACTIVA AGUAS DE MONTERÍA S. A. E. S. P., entregada en concesión desde 2000, por un término de 20 años. Esta empresa es la encargada de manejar el contrato de concesión para la financiación, ampliación, rehabilitación, mantenimiento y operación de la infraestructura de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Montería.

#### A Agua potable

Para suplir la demanda de agua en el municipio de Montería, actualmente se cuenta con 3 plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), las cuales son:

- Planta de potabilización Iguanas II,
- Planta de potabilización Sierra Chiquita,

<sup>129</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastre [en línea]. Montería: CMGRD, 2012 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/369/PMGRD%20Cerete.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

- Planta de potabilización Iguanas II.

En las zonas rurales el agua potable se maneja a través de represas, pozos profundos y directamente del río o de las quebradas. Además, según el POT la población del área rural del municipio no cuenta con un sistema de alcantarillado, por lo que la disposición de excretas y residuos líquidos se realiza mediante letrinas y pozos sépticos como soluciones alternativas y puntuales.

## A Energía

La empresa encargada de prestar el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica en el municipio es Electricaribe S. A. E. S. P. Según el DANE en 2011, más del 98 % de la población contaba con acceso legal a energía eléctrica; además, el 78 % de la energía provenía de generación hidroeléctrica y no existía un porcentaje de provisión de energía a través de fuentes renovables no convencionales<sup>130</sup>. El consumo anual de energía eléctrica per cápita es de 4.602 kWh/persona/año. También, el porcentaje de hogares del municipio con conexión autorizada a la red de suministro de gas natural es del 92,5 %<sup>131</sup>.

### 3.2.3.1 Saneamiento básico (Manejo de residuos líquidos y sólidos)

## A Residuos líquidos

En Montería, el 51,6 % de las aguas negras que viajan por la red de alcantarillado<sup>132</sup> es recibido en los sistemas de lagunas facultativas (o de oxidación), estas son: laguna Nororiental, Suroriental y Margen izquierda. Sin embargo, acorde con lo establecido en el Título E del RAS, en cuanto a distancia en áreas de urbanización, Montería está trabajando en la construcción de la PTAR con la que se eliminará de forma definitiva la laguna de oxidación ubicada en la zona nororiental de la ciudad para dar cumplimiento a la normativa aplicada<sup>133, 134</sup>. Este proyecto de construcción de la PTAR de Montería es considerado de gran importancia para la planta de valorización energética de residuos propuesta en este documento, debido a que pueden concretarse sinergias entre ambos proyectos. Los lodos activados provenientes de la PTAR o el biogás generado en los digestores de la PTAR pueden incorporarse en la planta de valorización de residuos aumentando la energía eléctrica generada y los ingresos del proyecto.

<sup>130</sup> FINDETER S.A. Plan de Acción 2032; Montería Sostenible de cara al Río Sinú. *Óp. cit.*

<sup>131</sup> BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Temas Priorizados en el Plan de Acción Montería [en línea]. 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://urbandashboard.org/iadb/index\\_city.html?id=MTR&lang=ES](http://urbandashboard.org/iadb/index_city.html?id=MTR&lang=ES)>

<sup>132</sup> *Ibíd.*

<sup>133</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan de Ordenamiento Territorial-POT. [en línea]. Proceso de revisión y ajuste 2002-2015. [citado en 2018-10-12]. Capítulo

<sup>134</sup> FINDETER S.A. Plan de Acción 2032; Montería Sostenible de cara al Río Sinú. *Óp. cit.*

## B Residuos sólidos

El PGIRS está implementado por el municipio de Montería como lo establece la norma. Además, Montería ha realizado recientemente campañas de recolección de residuos posconsumo (baterías, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE). A su vez, han realizado jornadas de recolección de llantas usadas, y la disposición final adecuada de estos elementos se hace a través de un gestor que cuenta con todos los requisitos ambientales necesarios.

En Montería, actualmente, para la disposición final de los residuos generados en el área urbana se encuentra operando el relleno sanitario «Loma Grande», ubicado en el departamento de Córdoba, municipio de Montería en la vía que conduce a la Vereda Loma Grande, la cual se ubica a la altura del km 6 en la vía que conduce de Montería a Planeta Rica y, posteriormente, a 3 km por carretera en sentido de la vereda Loma Grande, el predio donde se localiza corresponde a la antigua Cantera El Purgatorio<sup>135</sup>.

Según la base de datos de la SSPD, de la generación de los residuos presentada en 2016 (111.590,96 t/año) por el municipio de Montería, el 71 % de los residuos es de tipo orgánico con una representación de 79.129,14 t/año, seguido de los plásticos con 12.542,82 t/año que representan tan solo un 11 % (tabla 21).

**Tabla 21** Caracterización de los residuos sólidos en Montería

Tipo de residuo	Cantidad t/año
Orgánico	79.129,14
Papel y cartón	3.470,47
Madera	1.093,59
Caucho, piel, huesos y paja	1.115,90
Textiles	2.466,16
Metales	0
Construcción y demolición	714,18
Vidrio y cerámica	1.115,90
Plásticos	12.542,82
Inorgánicos	9.942,75

**Fuente:** SSPD<sup>136</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Adicional, de manera independiente a la empresa prestadora de las actividades de recolección, transporte, barrido, limpieza de vías y áreas públicas y disposición final (SERVIGENERALES S. A. E. S. P.), solo existen en el municipio de Montería dos asociaciones de recicladores de oficio (tabla 22) que pertenecen a alguna de las figuras jurídicas previstas en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 para prestar el servicio público de aseo.

<sup>135</sup> SERVIGENERALES. Estudio de Impacto Ambiental del Relleno Sanitario Loma Grande Montería: Resolución 0252 y 0569. 2017. Disponible en: Expediente suministrado por la ANLA con Nro. 6591.

<sup>136</sup> Datos extraídos por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD). *Óp.cit.*

Tabla 22 Asociaciones de recicladores

Razón social	Cooperativa multiactiva de servicios ambientales de recicladores de Córdoba E. S. P.
	Asociación de recicladores de oficio para Córdoba y Sucre E. S. P.

Fuente: PGIRS<sup>137</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De igual manera, existen 28 entidades adicionales debidamente constituidas que realizan algún tipo de actividad relacionada con el sector de aprovechamiento de residuos. Estos recicladores de oficio pertenecen a algún tipo de organización, asociación o agremiación, de los cuales se destacan la Fundación para el Desarrollo Acuícola Agroindustrial en el departamento de Córdoba, Ambiente Ecológico AE S. A. S. y ECO ERA S. A. S., entre otras<sup>138</sup>.

### 3.2.3.2 Programa de ciudades energéticas

A través de la cooperación técnica internacional, se ha avanzado en la formulación de un nuevo proyecto en donde Montería es uno de los sitios geográficos en los que se realizará el proyecto denominado «Ciudades Energéticas en Colombia», gestionado por parte de la UPME y la Seco. Este proyecto busca mejorar la calidad de la gestión energética del municipio, fomentando las energías renovables y la eficiencia energética como herramientas para mitigar el cambio climático y promover el desarrollo sostenible.

Se destaca que Montería es una de las pocas ciudades colombianas que hasta el momento han construido un Plan Maestro de Cambio Climático. Además, la ciudad es hoy referente y pionera nacional y, por su tamaño, desempeño económico y demografía, se encuentran en condiciones para avanzar en programas de fuentes no convencionales de energía que pretenden contribuir a la sostenibilidad económica, social, ambiental y urbana.

### 3.2.3.3 Plan Maestro de Cambio Climático, Montería, Ciudad Verde 2019

Montería cuenta con el PMCC «Montería Ciudad verde 2019», adoptado mediante el Acuerdo 035 del 8 de diciembre de 2011, en el cual las ciudades asumen el liderazgo en la lucha contra el cambio climático. Esta herramienta define un marco de acción para actuar frente a las causas y los efectos del cambio climático, estableciendo criterios de sostenibilidad en el desarrollo urbano y crecimiento económico del municipio.

El PMCC está compuesto por 15 retos y 26 acciones, a partir de las cuales se lograría reducir las emisiones de gases efecto invernadero para el 2019 en un 20%. Dos de los 15 retos

<sup>137</sup> MACRO Y MACRO CONSULTORES Y ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan De Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Montería, Córdoba -PGIRS. Óp. cit.

<sup>138</sup> *Ibíd.*

expuestos hacen alusión a: promover la eficiencia energética y el uso de energías renovables por medio de la implementación de medidas de eficiencia energética en instalaciones del municipio, y fortalecer la gestión integral de los residuos, a través de la captación del biogás del relleno sanitario (reducir las emisiones de metano generados por la descomposición de los residuos sólidos).

Para situar la realidad específica de Montería, en el primer semestre de 2011, se llevó a cabo un estudio sobre la huella de carbono del municipio, con el fin de determinar las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por sus distintas actividades y sectores<sup>139</sup>. Del análisis se desprende que el sector que más contribuye con emisiones de CO<sub>2</sub>eq es el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra-AFOLU con un 90 % (908.352,91 t) del total de las emisiones del municipio (tabla 23), lo cual se explica por la vocación agrícola y ganadera del municipio. Mientras, el sector de residuos tan solo aporta el 10 % restante (96.618,16 t)<sup>140</sup>.

También se puede apreciar que de las emisiones de CO<sub>2</sub>eq que se concentran en los subsectores AFOLU, el 72 % (654.157,88 t) pertenece al sector de ganado, y el 28 % (251.411,37 t), a suelos gestionados. Asimismo, los subsectores de residuos sólidos se concentran con un 56 % (54.464,16 t) y aguas residuales con el 39 % (38.154,00 t).

**Tabla 23** Resultados huella de carbono - Municipio de Montería 2009

Subsector	GEI			t CO <sub>2</sub> eq	Sectores
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O		
Tierras de cultivo (arroz)	0	111,35	0	2.783,66	Agricultura Silvicultura y otros usos de la tierra
Ganado	0	26.166,32	0	654.157,88	
Suelos gestionados	0	0	843,66	251.411,37	
<b>Subtotal AFOLU</b>	<b>0</b>	<b>26.277,66</b>	<b>843,66</b>	<b>908.352,91</b>	
Residuos sólidos	0	2.338,57	0	54.464,16	Residuos
Aguas residuales	0	1.329,02	16,54	38.154,00	
<b>Subtotal residuos</b>	<b>0</b>	<b>3.667,59</b>	<b>16,54</b>	<b>96.618,16</b>	
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>29.945,25</b>	<b>860,2</b>	<b>1.004.971,07</b>	

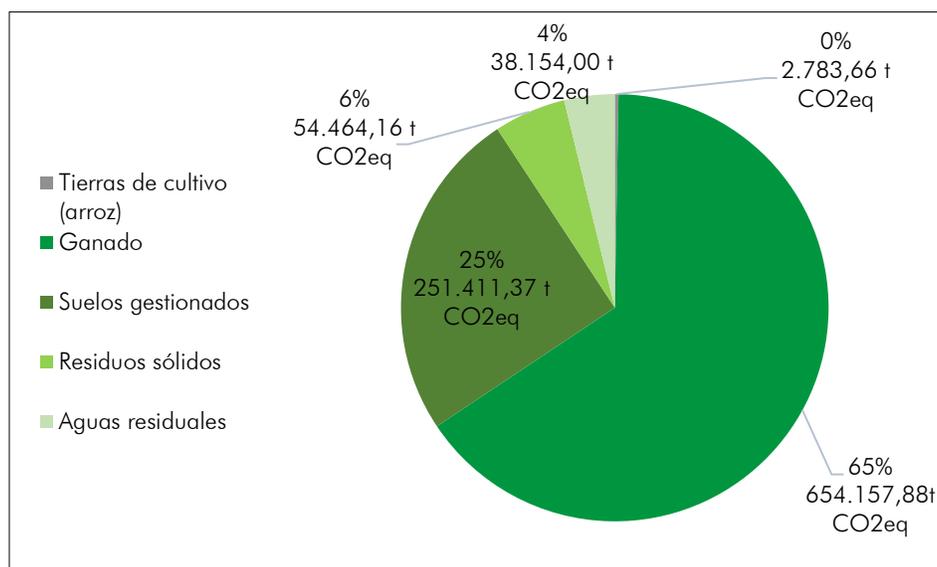
**Fuente:** Alcaldía de Montería<sup>141</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Finalmente, a partir del análisis del PMCC de Montería y como se puede evidenciar en el gráfico 10, el total de emisiones asociadas con el municipio, las cuales fueron de 1.004.971,07 t CO<sub>2</sub>eq, y en donde el sector ganadero es el más representativa con un 65 % (654.157,88 t), seguido por el de los suelos gestionados con un 25 % (251.411.37 t).

<sup>139</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan Maestro de Cambio Climático – Montería Ciudad Verde 2019. Óp. cit.

<sup>140</sup> *Ibíd.*

<sup>141</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 10** Resultados huella de carbono - Municipio de Montería

Fuente: PCCC<sup>142</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.2.3.4 Relleno sanitario Loma Grande

El relleno sanitario Loma Grande de Montería cuenta con licencia ambiental para operar, mediante la Resolución 8861 del 17 de febrero de 2005 otorgada por la CVS y las Resoluciones 0252 del 4 de marzo de 2015 y 0569 del 21 de mayo de 2015 emitidas por la ANLA, para hacer disposición final de los residuos sólidos generados por usuarios entre empresas y municipios<sup>143</sup>. La vida útil del relleno sanitario se estimó en un principio hasta diciembre de 2014. Sin embargo, el operador Servigenerales S. A. E. S. P. realizó una solicitud de ampliación de la licencia ambiental del relleno sanitario ante la ANLA y, el 4 de marzo de 2015, dicha licencia fue otorgada a través de la Resolución 0252, la cual autorizó al concesionario a adecuar un terreno adicional de 8 ha, con un restante de 17,3 años de vida útil.

De acuerdo con la base de datos de generación de residuos de la SSPD para 2016, el relleno sanitario Loma Grande abastece 19 municipios (tabla 24). Sin embargo, según el PGIRS de Montería de 2016, el relleno sanitario atiende diariamente a 21 municipios, entre los cuales se presentan 8 municipios diferentes a los reportados en la base de datos de la SSPD (Chimá, Cotorra, Loricá, Momil, Purísima, San Andrés de Sotaveto, San Antero y Tuchín). Por consiguiente, para este estudio se tomó la información suministrada en la base de datos por la SSPD para

<sup>142</sup> *Ibid.*

<sup>143</sup> CIAN y SERVIGENERALES. Informe de caracterización fisicoquímica de residuos sólidos del relleno Loma Grande. Disponible en: Expediente suministrado por la ANLA con Nro. 6591.

2016, la cual cuenta con los datos necesarios para el análisis de generación de RSU de los municipios.

**Tabla 24** Municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario de Loma Grande

Nro.	Municipio
1	Montería
2	Canalete
3	Ciénaga de oro
4	Los Córdoba
5	Moñitos
6	Planeta Rica
7	Pueblo Nuevo
8	Puerto Escondido
9	San Bernardo del viento
10	San Carlos
11	San Pelayo
12	Tierralta
13	Valencia
14	Ayapel
15	Buena Vista
16	Cereté
17	La apartada
18	Montelíbano
19	Puerto Libertador

Fuente: SSPD<sup>144</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

## A Caracterización de los RSU

De conformidad con la base de datos de generación de residuos de la SSPD de 2016, en el relleno Sanitario Loma Grande se generaron en total 195.896 t de residuos sólidos para el año en mención. En la tabla 25 se presenta las toneladas que fueron dispuestas mensualmente:

**Tabla 25** Toneladas tratadas en el relleno sanitario Loma Grande

Año	Mes	Total
2016	Enero	16.105
	Febrero	13.840
	Marzo	14.682
	Abril	15.486
	Mayo	16.851
	Junio	15.782
	Julio	16.206
	Agosto	16.816
	Septiembre	15.837
	Octubre	16.703

<sup>144</sup> Municipios que se abastecen del relleno sanitario Loma Grande según la base de datos realizada por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) para el año 2016.

Año	Mes	Total
	Noviembre	18.675
	Diciembre	18.913
	<b>Total</b>	<b>195.896</b>

Fuente: SSPD<sup>145</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De las 195.896 t/año que se dispone en el relleno sanitario, el 71 % corresponde a residuos orgánicos con una cantidad de 138.910,08 t/año, plásticos con un 11 % (22.018,74 t/año) y residuos inorgánicos participa con un 9 % con 17.454,36 t/año (tabla 26).

**Tabla 26** caracterización de los residuos dispuestos en el relleno Loma grande

Tipo de residuo	Cantidad t/año
Orgánico	138.910,08
Papel y cartón	6.092,37
Madera	1.919,78
Caucho, piel, huesos y paja	1.958,96
Textiles	4.329,30
Metales	0
Construcción y demolición	1.253,73
Vidrio y cerámica	1.958,96
Plásticos	22.018,74
Inorgánicos	17.454,36

Fuente: SSPD<sup>146</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Por lo tanto, el proyecto WTE para Montería corresponde a un proyecto regional, que permitiría aprovechar las biomásas de RSU y otras biomásas generadas en estos 19 municipios.

## B Sustratos posibles de aprovechamiento

Según el *Atlas del potencial energético de la biomasa residual de Colombia y la Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento*, en Colombia, existen aproximadamente 18 tipos de biomásas que podrían ser utilizadas para generación de biogás o directamente para la producción de energía eléctrica, entre otros. En la tabla 27 se presentan los tipos y la producción de las biomásas del país, aquí se observa que la mayor participación se encuentra en el sector pecuario con un 50,75 %, en particular asociado al estiércol bovino. El 34 % de la biomasa residual disponible es generado por el sector agrícola, donde predomina la generada por los cultivos de plátano, caña de azúcar, banano y caña panelera.

<sup>145</sup> Datos de la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD). Óp.cit.

<sup>146</sup> *Ibíd.*

**Tabla 27** Tipos de biomásas en Colombia disponibles para valoración energética

Nro.	Sector	Producción	
		t/año	%
<b>Pecuario</b>		<b>105.421.242</b>	<b>50,75</b>
1	Avícola	3.446.348	1,66
2	Porcícola	2.803.111	1,35
3	Bovino	99.171.783	47,75
<b>Agrícola</b>		<b>72.173.472</b>	<b>34,75</b>
4	Arroz	6.341.118	3,05
5	Banano	11.550.891	5,56
6	Café	5.051.248	2,43
7	Maíz	1.940.797	0,93
8	Palma de Aceite	1.660.074	0,80
9	Plátano	20.581.323	9,91
10	Caña de Azúcar	15.534.591	7,48
11	Caña Panelera	9.513.430	4,58
<b>Urbano</b>		<b>19.595.566</b>	<b>9,43</b>
12	RSU (podas)	52.708	0,03
13	RSU (Plazas de mercado)	120.211	0,06
14	Lodos PTAR	19.422.647	9,35
<b>Industrial</b>		<b>10.517.269</b>	<b>5,06</b>
15	Lácteo	37.125	0,02
16	Cervecería	789.230	0,38
17	Destilería	9.587.333	4,62
18	Matadero	103.581	0,05
<b>Total</b>		<b>207.707.549</b>	<b>100,00</b>

Fuente: UNAL-TECSOL<sup>147</sup> y UPME<sup>148</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Para la formulación del proyecto, uno de los requisitos básicos es garantizar la biomasa en términos de calidad, cantidad y continuidad, de tal forma que no se afecte el funcionamiento de la planta, especialmente en las tecnologías basadas en procesos biológicos, donde se requiere proveer una carga de entrada permanente (expresadas en sólidos volátiles y/o materia orgánica), de otra forma el sistema se descompensa y podría presentar problemas operativos. Con base en lo anterior, el proyecto puede funcionar con la combinación de varios tipos de biomásas; no obstante, es necesario considerar la preparación interna de la misma para alimentar las unidades de transformación.

Otro aspecto importante a considerar es la presentación o calidad de la biomasa, ya que si esta viene mezclada (como es el caso de los RSU) la planta requiere implementar procesos de preparación o alistamiento previo al proceso de transformación, orientados a retirar aquellos materiales no aprovechables e incluso aquellos que pueden perjudicar el proceso biológico. De manera que, los esquemas integrales de manejo de residuos de biomasa agrícola (p. ej., residuos

<sup>147</sup> UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento. Óp. cit., p. 215.

<sup>148</sup> UPME, UIS, IDEAM y CEIAM. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia [en línea]. Bogotá, 2010 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: < <http://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1058> >

del arroz, café, cacao, banano, y otros cultivos) que integren el aprovechamiento energético, sumado con los residuos pecuarios (p. ej., avícola, bovino, porcícola) y los RSOU (residuos de poda y plazas de mercado), desempeñan un papel importante en el crecimiento de la eficiencia energética para aprovechamiento de la biomasa residual.

Del mismo modo, aunque estos tipos de biomasa residual se producen concentrados, su aprovechamiento en las mismas instalaciones donde se generan requiere cantidades suficientes para que su valorización energética resulte técnica y económicamente viable. En este sentido, su uso fuera de ellas depende de la existencia de sistemas que centralicen su recogida, la alta disposición diaria de los residuos sólidos y la vinculación de los sectores objeto de influencia en los municipios que abastece el relleno sanitario Loma Grande para el aprovechamiento de sus potencialidades energéticas.

Para el caso del área de influencia del proyecto (19 municipios), se estimó la oferta de biomásas que se generan con base en el potencial de biomásas de la UPME de 2010, en la que se observó que los principales volúmenes corresponden a estiércol bovino del sector pecuario (7,4 millones t/año) y residuos de plátano (1,5 millones t/año) (tabla 28). De los datos, se destacan los RSOU<sup>149</sup> (residuos orgánicos de alimentos + podas) con 138.910 t/año, correspondientes al 71 % de los residuos sólidos que se disponen en el relleno sanitario de Loma Grande.

**Tabla 28** Oferta de biomásas en el área de estudio

Municipio	Biomasa, t/año								
	Pecuario			Agrícola					Urbano
	Avícola	Porcícola	Bovino	Arroz	Maíz	Palma de aceite	Plátano	Caña Panelera	RSU
	Estiércol	Estiércol	Estiércol	Paja	Caña	RFF Laguna Oxidación	Fruta Rechazo	Bagazo	RSOU*
Montería	881	12.176	1.948.055	40.055	15.906	0	35.172	0	79.129
Ayapel	0	0	545.656	26.604	1.939	0	0	0	2.349
Buenavista	0	0	392.007	969	416	0	0	0	1.197
Canalete	0	0	207.315	0	17.444	0	60.762	0	398
Cereté	0	0	145.017	11.016	46.754	0	12.177	0	20.065
Ciénaga de oro	11.651	4.940	328.920	6.056	36.063	0	2.460	377	3.647
La Apartada	0	2.854	133.268	1.545	260	0	185	0	1.179
Los Córdoba	0	117.520	211.689	2.874	1.414	0	140.780	0	581
Montelíbano	0	35.761	466.935	4.616	3.086	0	10.154	0	9.642
Moñitos	0	0	49.720	449	1.085	0	204.180	0	580
Planeta Rica	719	3.660	589.144	10.789	3.430	0	6.740	0	7.025
Pueblo Nuevo	0	2.875	361.263	11.404	4.186	0	1.550	0	1.608

<sup>149</sup> La cantidad de residuos RSOU que se expresa en los resultados gráficos es generado según los calculados por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) para el año 2016.

Municipio	Biomasa, t/año								
	Pecuario			Agrícola					Urbano
	Avícola	Porcícola	Bovino	Arroz	Maíz	Palma de aceite	Plátano	Caña Panelera	RSU
Estiércol	Estiércol	Estiércol	Paja	Caña	RFF Laguna Oxidación	Fruta Rechazo	Bagazo	RSOU*	
Puerto Escondido	0	35.672	241.022	434	3.849	0	121.770	0	401
Puerto Libertador	0	0	423.776	9.713	1.641	0	12.300	0	2.076
San Bernardo del viento	0	0	93.033	38.189	283	27	32.331	0	481
San Carlos	0	754	248.624	1.301	3.030	0	0	0	519
San Pelayo	0	16.228	226.600	2.698	33.268	0	3.788	0	1.230
Tierralta	8	0	504.530	30.557	28.269	0	664.200	0	5.134
Valencia	0	0	281.840	9.305	5.251	0	215.865	0	1.668
<b>Suma</b>	<b>13.259</b>	<b>232.440</b>	<b>7.398.412</b>	<b>208.572</b>	<b>207.573</b>	<b>27</b>	<b>1.524.413</b>	<b>377</b>	<b>138.910</b>

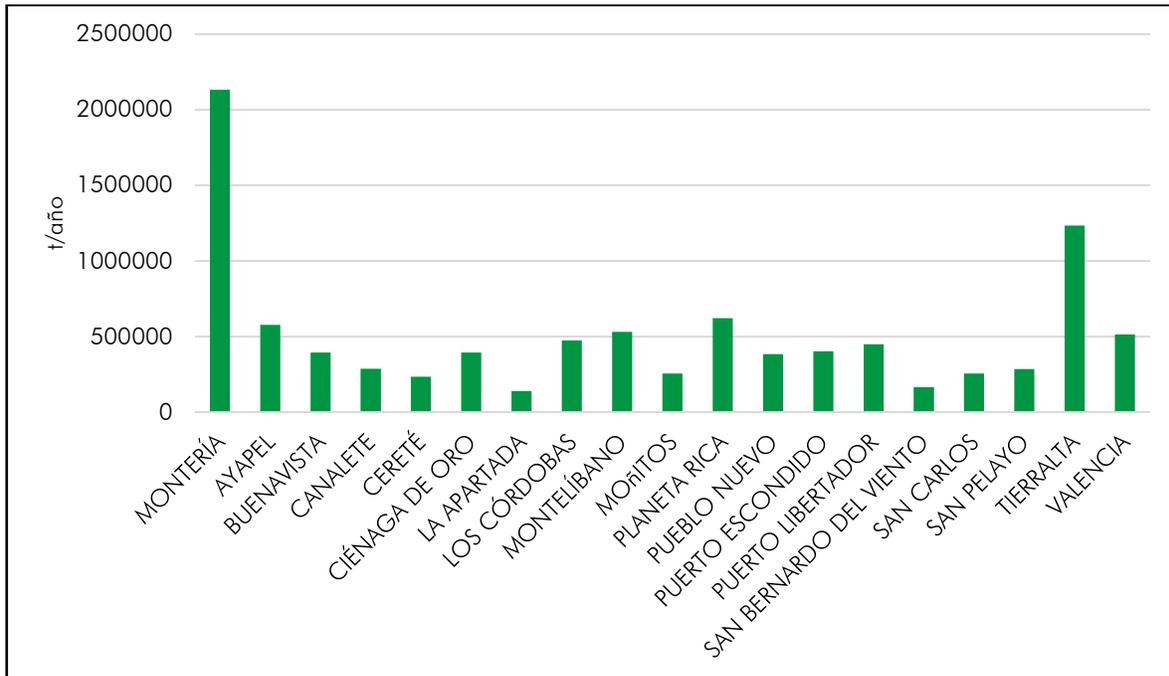
Fuente: \*SSPD<sup>150</sup> y UPME<sup>151</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De acuerdo con la oferta de la biomasa que se expresa en la tabla anteriormente mencionada, y a partir de la base de datos suministrada por la SSPD de 2016 y el *Atlas de potencial energético de la biomasa residual en Colombia* de 2010, se presenta a continuación el análisis estadístico de la generación y del potencial energético de los residuos de origen vegetal, animal y RSOU, generados en el relleno Loma Grande por medio de los 19 municipios que los abastece. Por consiguiente, por medio del análisis se puede expresar (gráfico 11) que la generación de los residuos (animal, vegetal y RSOU) de los 19 municipios que abastece relleno sanitario Loma Grande presenta un total de generación de 9.592.383,97 t/año.

Además, se resalta que Montería, con generación de 2.131.374,07 t/año, es el municipio que más participación tiene en el relleno sanitario. Seguido, se encuentra el municipio Tierra Alta, que se encuentra a 136 km de Montería, y genera 1.232.696,83 t/año. De modo que, se constituye en una mejoría para el prototipo de diseño de valorización energética en el municipio de Montería, en cuanto a la posibilidad de producir más energía renovable a partir de la biomasa residual agropecuaria y de RSOU de cada uno de los municipios que disponen sus residuos sólidos en el relleno sanitario Loma Grande.

<sup>150</sup> *Ibid.*

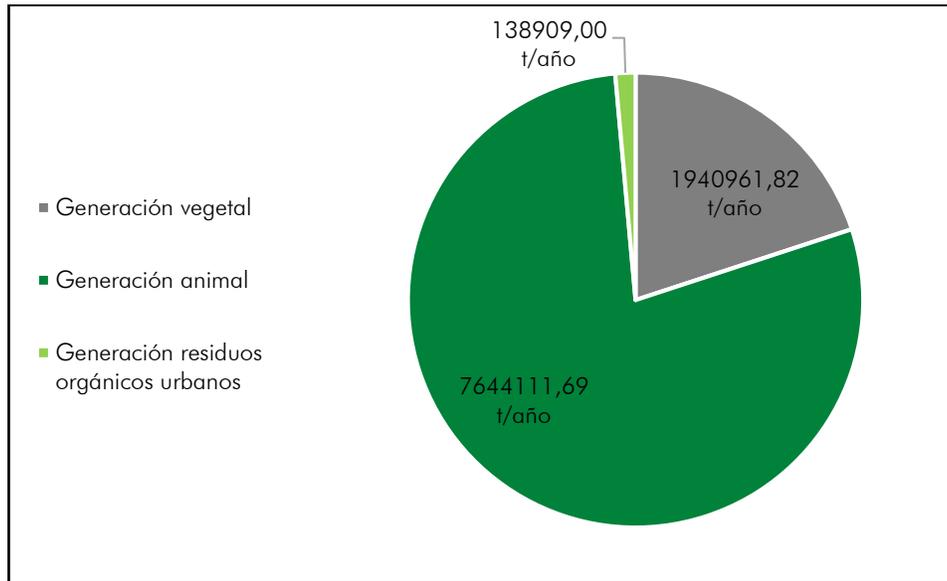
<sup>151</sup> Datos de cantidad de biomasa animal y vegetal generada según el atlas del potencial de la biomasa residual en Colombia, 2010.

**Gráfico 11** Generación de residuos - municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande

Fuente: SSPD<sup>152</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En el gráfico 12, se presenta de manera general la cantidad de residuos que generan los 19 municipios que abastece el relleno Loma Grande, en cuanto al residuo animal, vegetal y RSOU. Se puede apreciar que los residuos de generación animal son los que más se concentran en los municipios con una generación de 7.644.111,68 t/año, aportando el 79 % de la producción total de los residuos sólidos. El 20 % de aporte lo generan los residuos vegetales con 1.940.961,82 t/año.

<sup>152</sup> Datos calculados por la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD). Óp.cit

**Gráfico 12** Generación de residuos vegetal, animal y RSOU

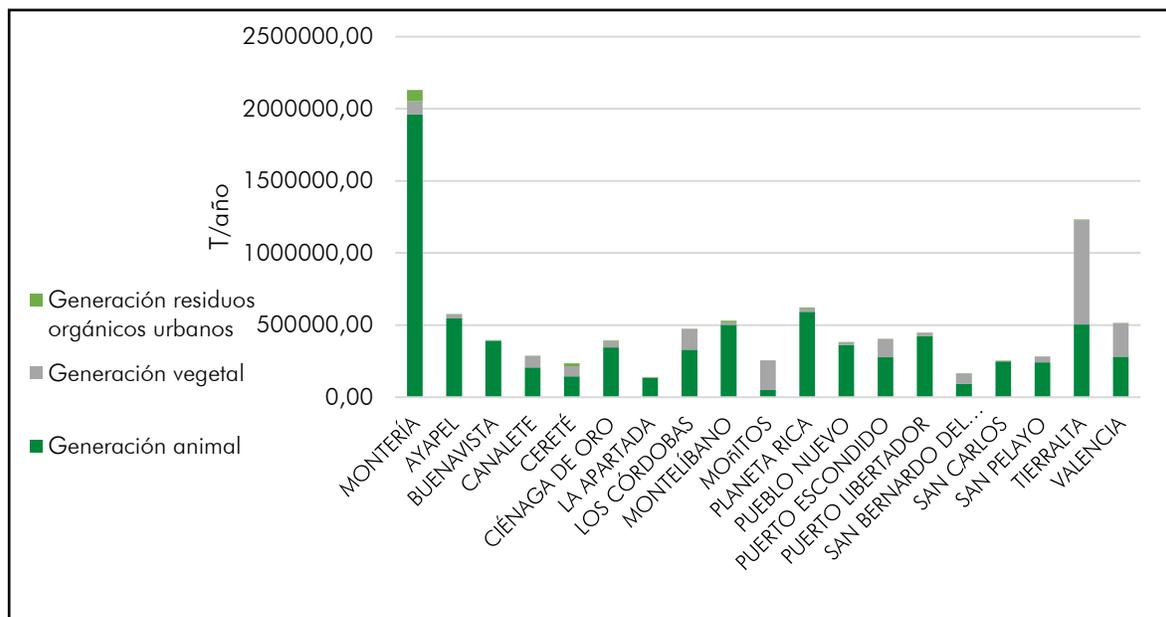
**Fuente:** UPME<sup>153</sup> y SSPD<sup>154</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Además, según los resultados analizados (gráfico 13), la generación de los residuos provenientes del sector vegetal asciende principalmente por los municipios de Valencia (230.421,01 t/año) y Tierra Alta (723.025,52 t/año). En el caso del sector animal, se encuentra concentrado en grandes cantidades en el municipio de Montería (1.961.111,75 t/año) y Planeta Rica (593.522,70 t/año). Los RSOU se encuentra concentrado en el municipio de Montería con 79.129 t/año y Cereté con 20.065 t/año.

<sup>153</sup> *Ibíd.*

<sup>154</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 13** Generación de residuos vegetal, animal de los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande



**Fuente:** UPME<sup>155</sup> y SSPD<sup>156</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En el caso del potencial energético, la mayor contribución energética corresponde al animal, con 7282,57 TJ/año, lo que representa el 64 % del potencial estimado. El 36 % corresponde a los 4027,21 TJ/año de biomasa vegetal (gráfico 14). Del potencial energético animal, los municipios con mayor concentración son el municipio de Montería con 1.800,67 TJ/año, seguido por Tierra Alta con 818,24 TJ/año (gráfico 15). Este sector es una gran fuente para la producción de biomasa, debido a que poseen grandes niveles de nutrientes inorgánicos como fósforo y nitrógeno en sus residuos, además cuentan con la habilidad de desprender vapores, es decir compuestos orgánicos volátiles y gases como el metano. Los residuos del sector pecuario cuentan con niveles considerables de humedad que hacen necesario el uso del proceso de digestión anaerobia, logrando un mayor aprovechamiento de la energía generable a partir de estos<sup>157</sup>.

Del potencial energético vegetal, los municipios de mayor potencial es el municipio de Tierra Alta con 818,24 TJ/año, seguido por Cereté con 557,85 TJ/año. Para este tipo de residuo las

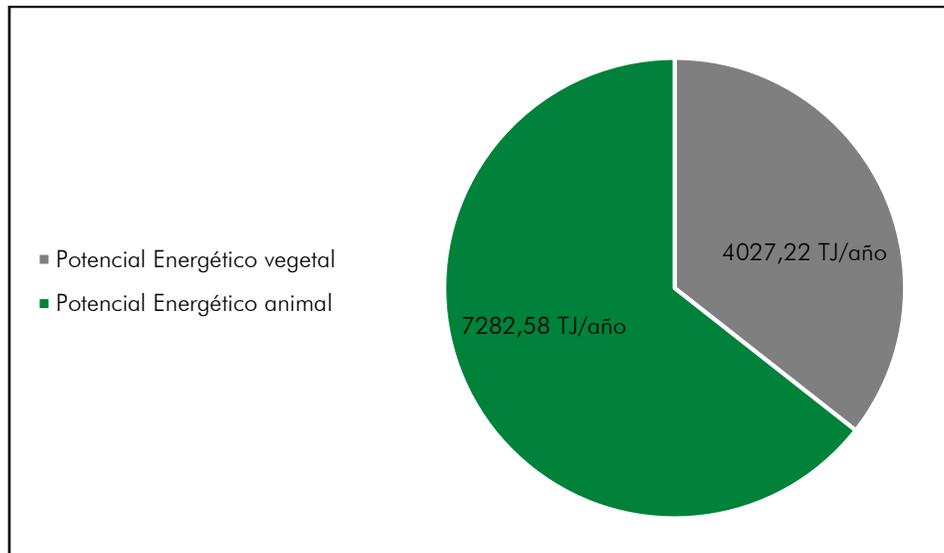
<sup>155</sup> *Ibid.*

<sup>156</sup> *Ibid.*

<sup>157</sup> SERRATO, C y LESMES, V. Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. [en línea]. Bogotá. 2016. 32 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3687/1/Documento%20final%20Metodolog%C3%ADa%20Potencial%20Energ%C3%A9tico%20Biomasa.pdf>>

malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado son las necesarias y las que representan una humedad relativa  $> 55\%$  para aprovechamiento energético<sup>158</sup>.

**Gráfico 14** Potencial energético de residuos vegetal y animal.

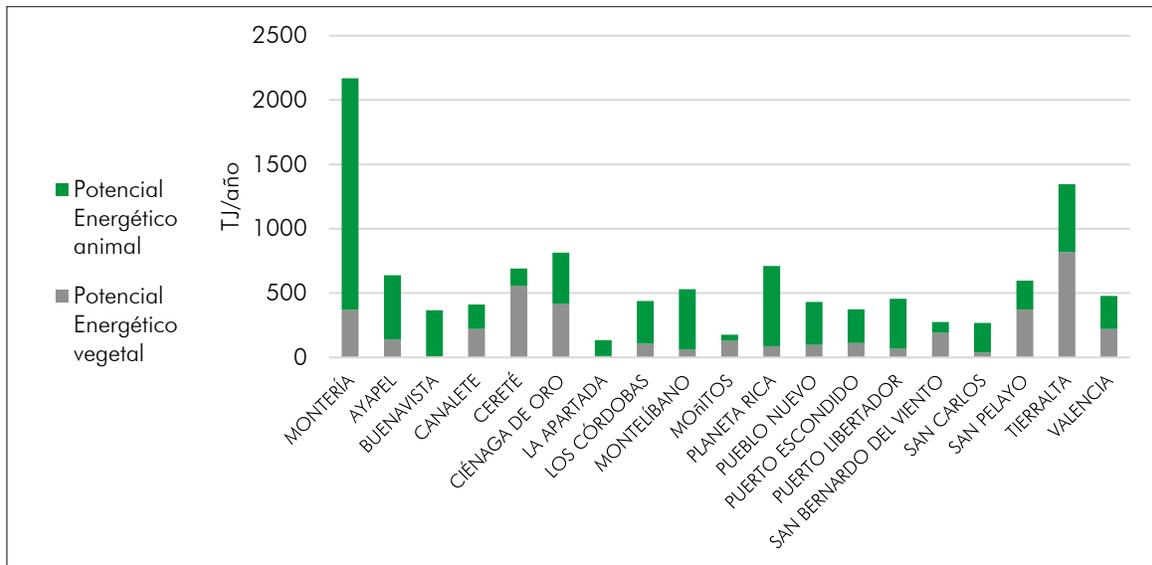


**Fuente:** UPME<sup>159</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>158</sup> *Ibíd.* pp. 31.

<sup>159</sup> Datos del atlas del potencial de la biomasa residual en Colombia. Óp. cit.

**Gráfico 15** Potencial energético de residuos vegetal, animal de los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande

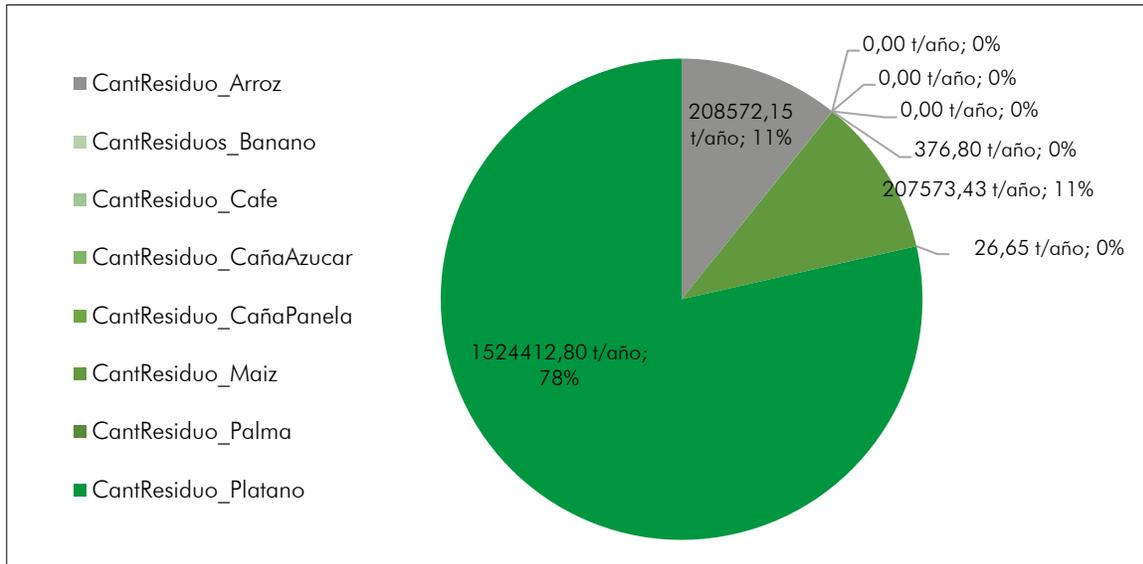


Fuente: UPME<sup>160</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

## I Biomasa vegetal

De los residuos generados en el sector agrícola (gráfico 16), se puede apreciar que el residuo de plátano es el que presenta mayor concentración, ya que representa el 78 % del total procedente de los residuos vegetales. Esto se debe que últimamente es el cultivo herbáceo con mayor producción en el departamento de Córdoba, debido a la calidad del producto que lo hace ser uno de sus mayores productos de exportación. El maíz y el arroz ocupan el segundo lugar con participación cada uno del 11 %.

<sup>160</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 16** Cantidad de generación de residuos vegetales

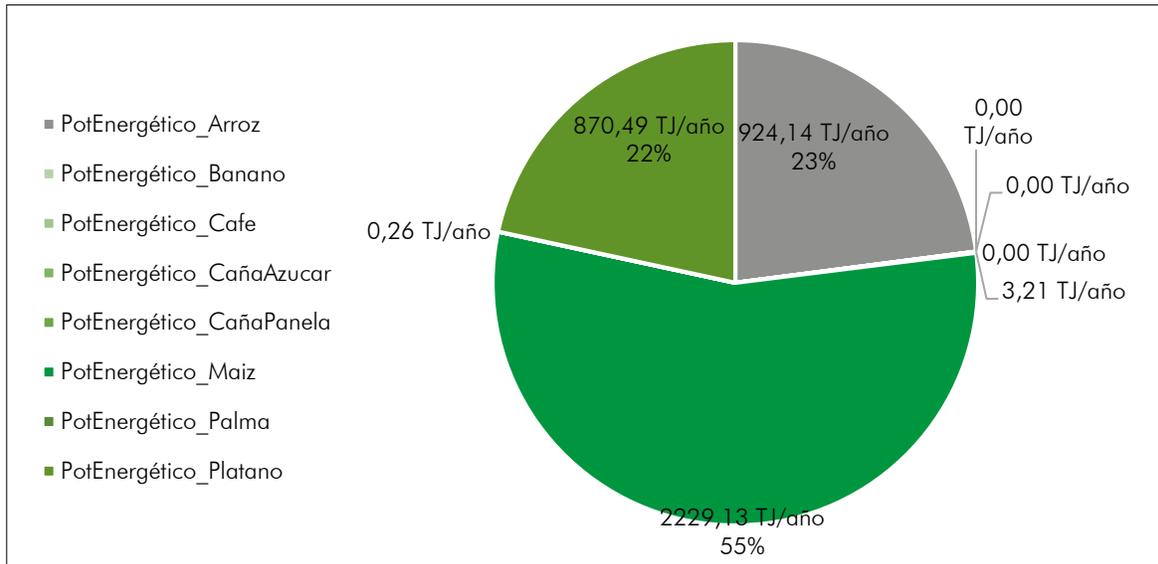
Fuente: UPME<sup>161</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se ha dicho anteriormente, los subproductos o residuos derivados de la actividad agraria constituyen una de las fuentes de biomasa con mayor potencial de desarrollo para uso energético. En el gráfico 17, se aprecian los diferentes cultivos y los porcentajes equivalentes de producción de potencial energético total del sector, en el que el maíz es el cultivo que aporta el 55 % de la producción energética del total de los cultivos agrícolas con un potencial de 2.229,13 TJ/año.

Lo anterior, se debe a que es un residuo lignocelulósico que aporta un poder calorífico de 26,7 MJ/Kg<sup>162</sup>. Aunque este residuo genera un alto potencial, solo se genera una cantidad de 207.573,43 t/año, lo que representa tan solo un 11 % del total de generación residual de los municipios abastecedores del relleno sanitario. El aporte restante se distribuye con una participación del 23 % por parte del residuo de arroz con potencial energético de 924,14 TJ/año y del 22 % para el residuo de plátano con potencial energético de 870,49 TJ/año, este último es el residuo con mayor concentración de generación residual.

<sup>161</sup> *Ibíd.*

<sup>162</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 17** Potencial energético de los residuos vegetales

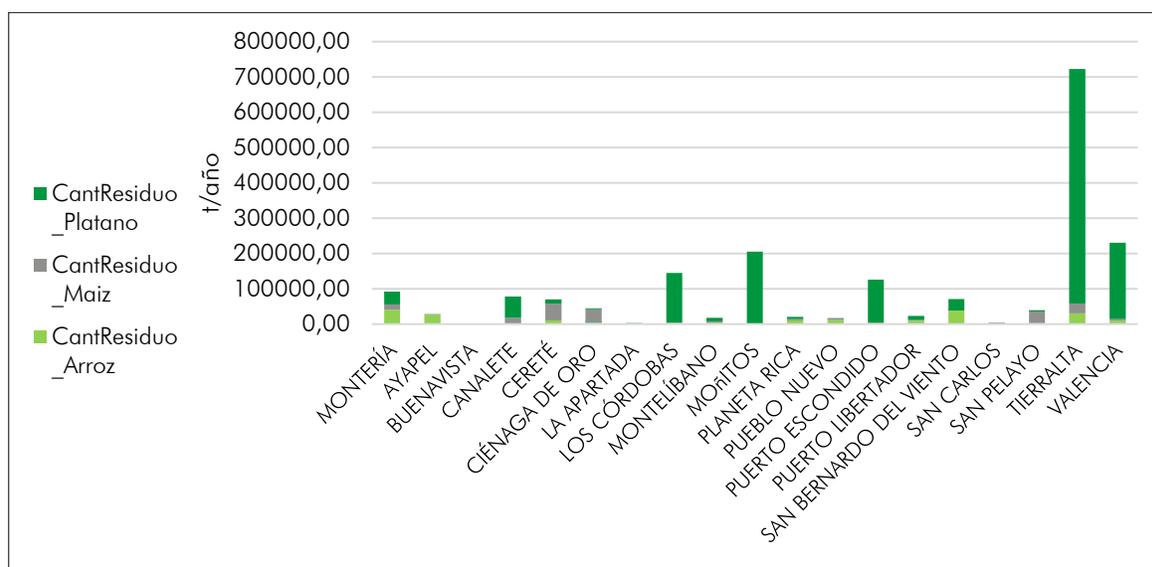
Fuente: UPME<sup>163</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se puede apreciar en el gráfico 18, los residuos de plátano se concentran principalmente en el municipio de Tierra Alta con una generación de 664.200,00 t/año, lo cual puede contribuir en una participación de generación del 44 % para el municipio de Montería. El residuo del arroz se manifiesta en una alta concentración de generación en el municipio de Montería con 40.055,40 t/año. Asimismo, existen municipios que pueden ayudar al incremento de la generación. En este caso, el municipio de San Bernardo del Viento que está a 80 km del relleno sanitario Loma Grande, representa una participación del 18 % con generación de 38.188,80 t/año, seguido del municipio de Tierra Alta con generación de 30.556,65 t/año y, finalmente, la participación del municipio de Ayapel (136 km de distancia al relleno sanitario) con generación de 26.604,15 t/año.

La producción de biomasa residual de maíz se presenta en mayor concentración en el municipio de Cereté con generación de 46754,43 t/año, y el cual se encuentra a 20 km del relleno sanitario. Otros de los municipios que podrían generar participación significativa a la generación de residuos de maíz es el municipio de Ciénaga de Oro con 36.062,69 t/año y San Pelayo con 33.268,07 t/año, cada uno cuanto con una distancia de 41 km y 39 km.

<sup>163</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 18** generación de residuos vegetales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande



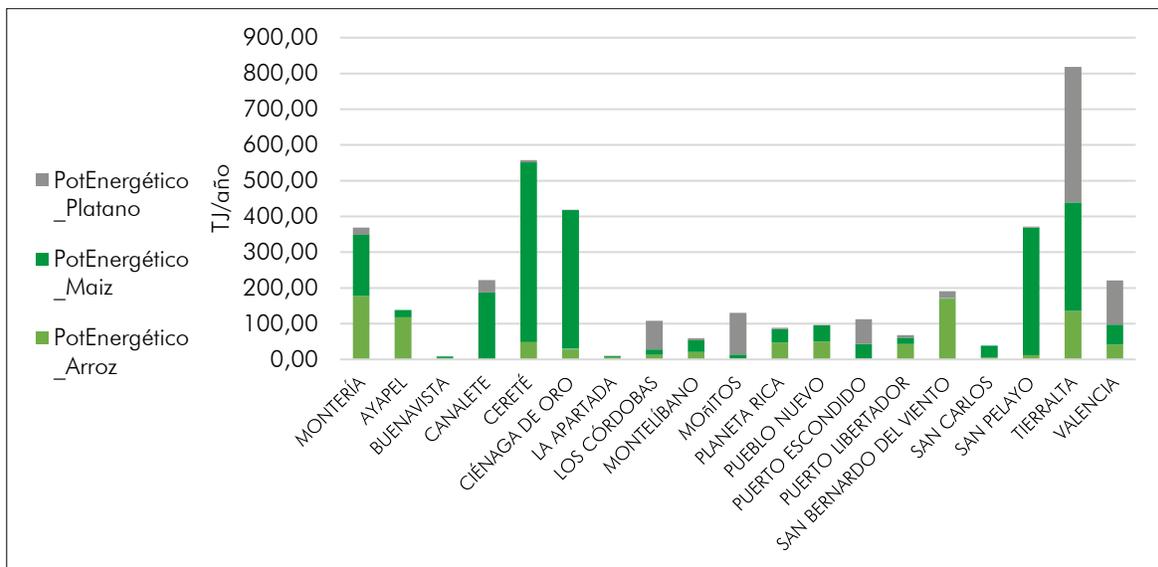
Fuente: UPME<sup>164</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De igual manera, como se observa en gráfico 19, el potencial energético procedente de la biomasa residual del cultivo del maíz se concentra principalmente en municipio de Cereté. En esta zona se obtienen potencial energético residual de 502,09 TJ/año, con una participación del 23 % para el municipio de Montería. Mientras, Ciénaga de Oro presenta participación del 17 % con un potencial energético de 387,28 y, por último, San Pelayo con participación de 357,26 TJ/año.

El potencial energético proveniente de los cultivos de plátano se concentra en el municipio de Tierra Alta, donde se obtienen potenciales energéticos de 379,28 TJ/año. Finalmente, el potencial energético generado por los residuos de arroz se concentra en el municipio de Montería con 177,48 TJ/año. Se destaca también la participación del municipio de San Bernardo del Viento (169,21 TJ/año) y Tierra Alta (135,39 TJ/año).

<sup>164</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 19** Potencial energético de los residuos vegetales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande

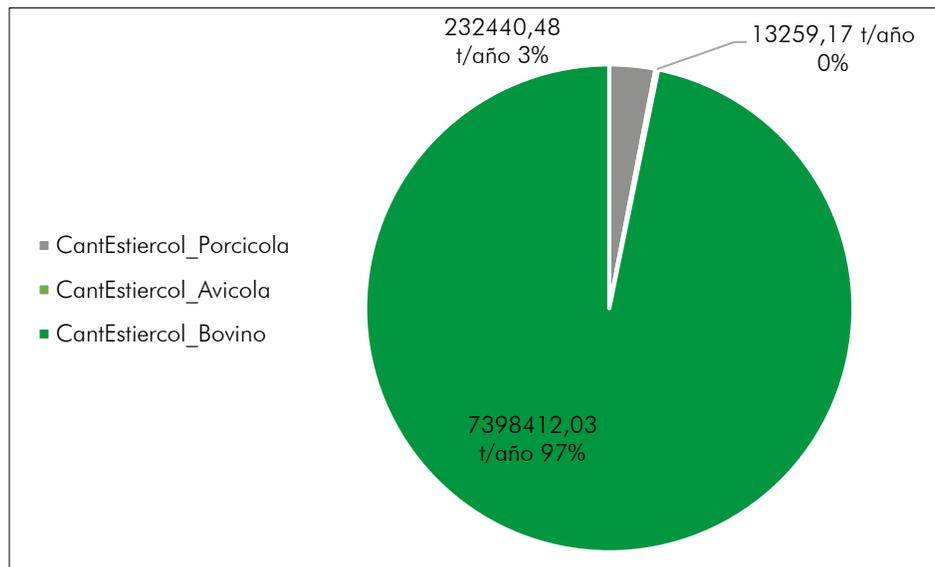


Fuente: UPME<sup>165</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

## II Biomasa animal

De los sectores pecuarios seleccionados, la mayor contribución de generación pertenece al sector bovino con 7.398.412,03 t/año, lo que representa el 97 % del total del sector pecuario (gráfico 20). El sector porcícola tan solo representa el 3 % que corresponde a la generación de 232.440,48 t/año. Se resalta que la cifra de cantidad generada en el sector bovino, es un número que puede variar partiendo del acceso que se pueda generar para ser aprovechado el residuo (estiércol y residuos de matadero).

<sup>165</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 20** Generación de residuos de origen animal

Fuente: UPME<sup>166</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

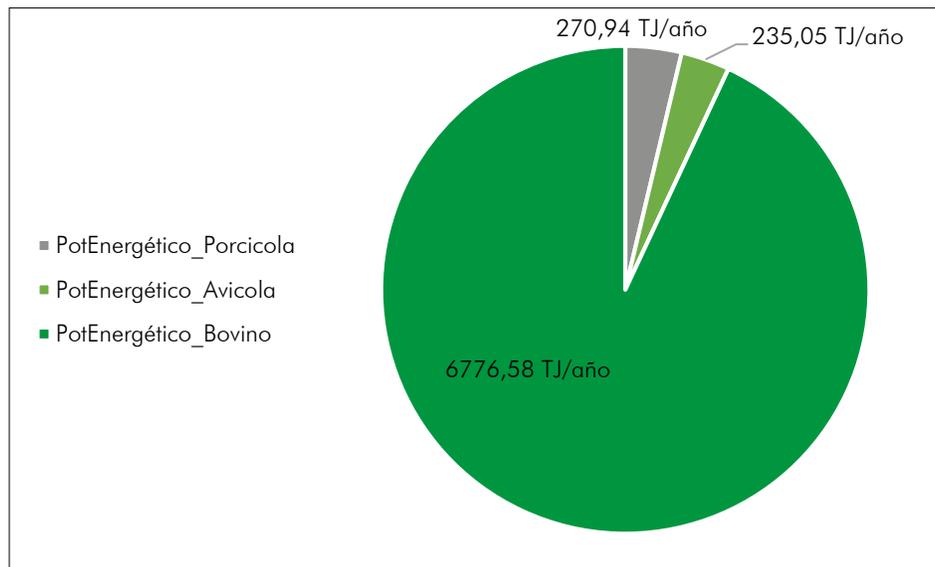
El potencial energético total de la biomasa residual del sector porcícola se observa en el gráfico 21, y se aprecian los diferentes cultivos y los equivalentes de producción de potencial energético total del sector, aquí el bovino es el que aporta el 93 % de la producción energética del total que se produce por los municipios que abastece el relleno sanitario Loma Grande. La estimación del potencial energético de la biomasa residual procedente del sector ganadero arroja una cifra de 6.776,57 TJ/año.

No obstante, como se ha mencionado anteriormente, solo es posible aprovechar todo este potencial si existe una disponibilidad elevada de concentración de biomasa animal generados por las cadenas productivas<sup>167</sup>. En el caso hipotético de que se utilizara toda la biomasa estimada para la generación de electricidad, sería una cifra significativa para la rentabilidad del proyecto en el municipio de Montería, ya que se considera que los residuos derivados de mataderos hacen un excelente aporte orgánico destacando elementos como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)<sup>168</sup>.

<sup>166</sup> *Ibid.*

<sup>167</sup> JUNTA DE ANDALUCÍA. Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera [en línea]. España: Consejería de Agricultura y Pesca, 2005. 19 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/biomasa.pdf>>

<sup>168</sup> SALAMANCA, Eduard. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en plaza de mercado [en línea]. Manizales: Universidad de Manizales (Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente), 2014. 17 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca\\_Castro\\_Eduad\\_Mauricio\\_2014.pdf?sequence=1](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca_Castro_Eduad_Mauricio_2014.pdf?sequence=1)>

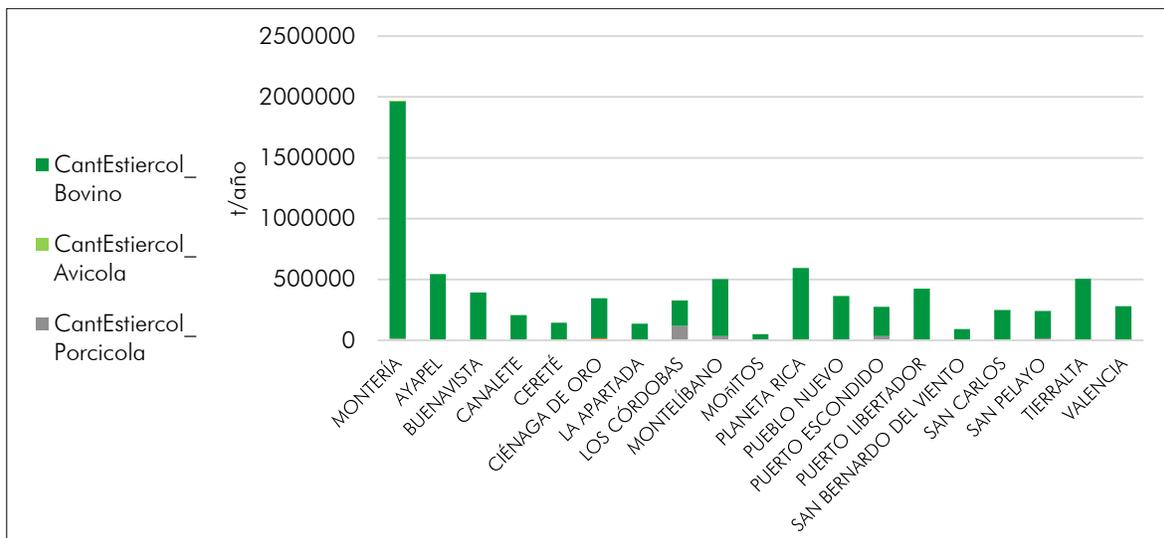
**Gráfico 21** Potencial energético de residuos de origen animal

**Fuente:** UPME<sup>169</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Una de las zonas más interesantes desde el punto de vista de generación de biomasa bovina se encuentra en el municipio de Montería y es gracias a que el sector ganadero es económicamente el más importante del municipio. Montería genera 1.948.054,64 t/año que representa el 26 % del total de la generación que presenta por parte de los municipios que abastece el relleno (gráfico 22). El municipio de Planeta Rica que se encuentra a 70 km del de Montería genera 589.143,58 t/año, el segundo en presentar mayor concentración y generar una buena participación para el municipio. Los municipios de Ayapel y Tierra Alta con generación de 545.655,65 t/año, y 504.529,64 t/año cada uno pueden llegar a generar una participación del 7 %.

<sup>169</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 22** Cantidad de residuos de origen animal en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande

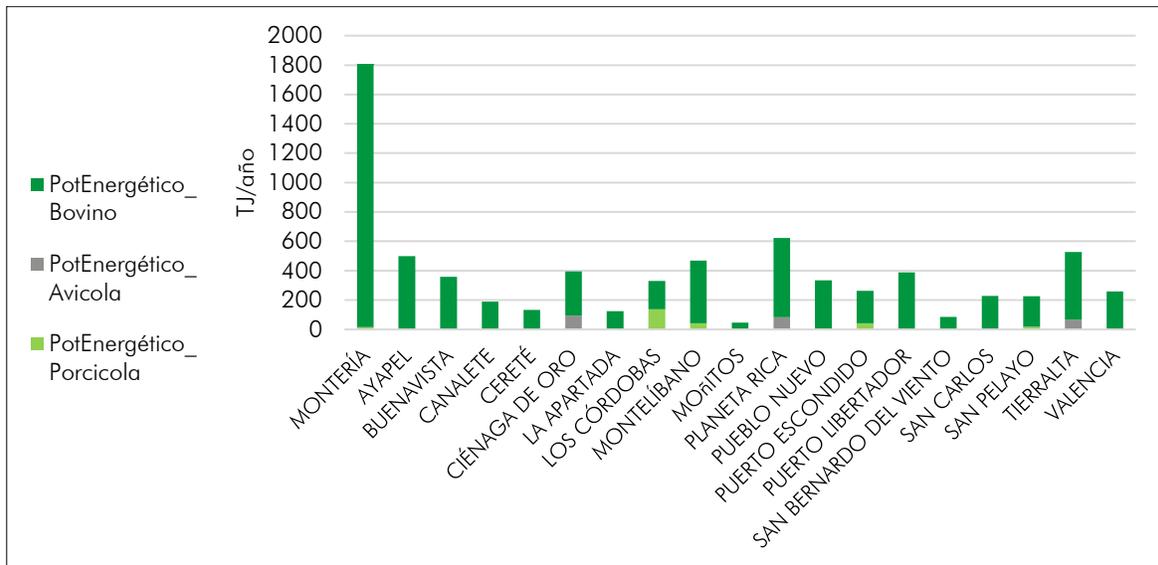


Fuente: UPME<sup>170</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Asimismo, en el gráfico 23, se encuentran determinadas zonas de concentración de potencial energético, como es el caso del municipio de Montería, donde existe un potencial de 1.784,32 TJ/año, del cual el 26 % del total procede del sector bovino. Planeta Rica presenta una participación significativa de 539,62 TJ/año, seguidamente de Ayapel con 499,79 TJ/año y Tierra Alta con un potencial energético de 462,12 TJ/año.

<sup>170</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 23** Potencial energético de los residuos animales en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande



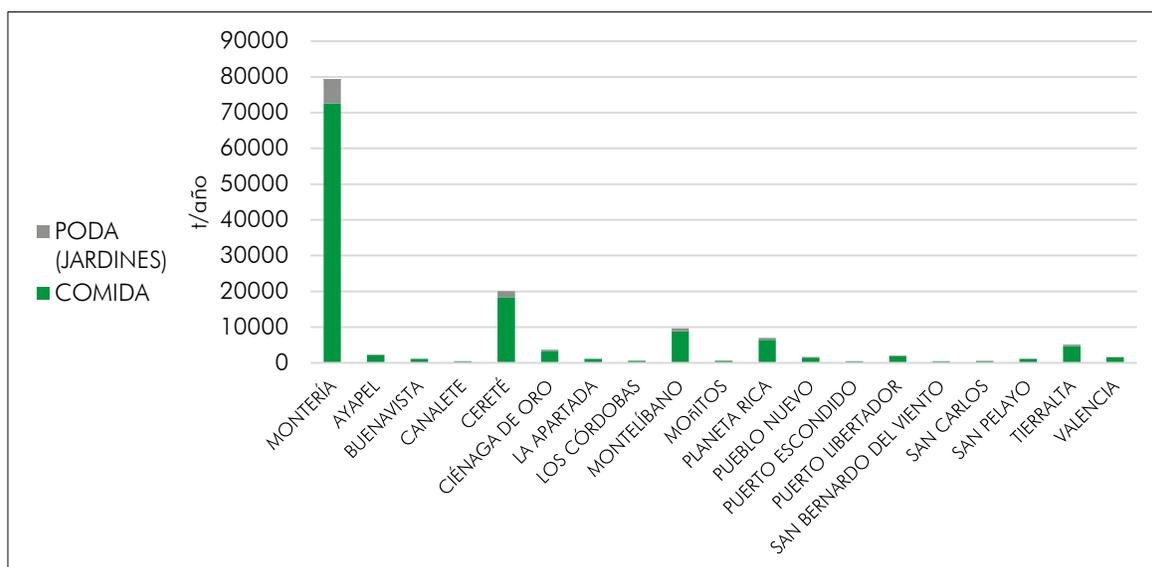
Fuente: UPME<sup>171</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### III Residuos sólidos orgánicos urbanos (RSOU)

Como se ha venido mencionado en secciones anteriores y de acuerdo con la información suministrada de generación de residuos por la SSPD para 2016, el relleno sanitario Loma Grande genera 138.910,08 t/año de residuos orgánicos, que representan el 71% del total de los residuos sólidos urbanos generados por los 19 municipios que abastece el relleno sanitario. Estos residuos se clasifican en residuos de comida y de poda (127.352,19 t/año y 11.557,88 t/año).

De las toneladas que se producen al año de residuos de orgánicos, Montería genera 72.545,28 t/año de comida y 6.583,86 t/año de poda (gráfico 24). Asimismo, se puede apreciar que el municipio de Cereté puede presentar la participación del 14 % con una generación de 18.395,89 t/año de residuos de comida y 1.669,52 t/año de poda.

<sup>171</sup> *Ibíd.*

**Gráfico 24** Cantidad de RSOU en los municipios abastecedores del relleno sanitario Loma Grande

Fuente: SSPD<sup>172</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.3 Definición del tamaño del proyecto WTE

El tamaño del proyecto para la planta WTE ha sido definido tomando en cuenta la disponibilidad de la biomasa (cantidad y frecuencia), su accesibilidad (facilidad con que pueda ser recolectada y transportada hasta el sitio del proyecto), así como en la disponibilidad tecnológica. Se destaca el hecho de que el tamaño típico de las plantas WTE en Estados Unidos se encuentran en el rango de 500 a 3.000 t/día<sup>173</sup>. De esta forma, para el modelo conceptual del proyecto se trabajó con los siguientes escenarios (tabla 29):

- **Escenario 1:** tratar solo RSOU (orgánicos + podas) de biomasa, considerando que este tipo de biomasa ya están disponibles, cuentan con un sistema de recolección y transporte ya en funcionamiento y corresponde al servicio público de aseo. En este caso el tamaño del proyecto sería de 550 t/días.
- **Escenario 2:** tratar los RSOU + 5 % demás biomasa. Este escenario se plantea dejando como base el tratamiento de los RSOU y considerando que a la planta podrían llegar el 5 % de los demás tipos de biomasa con potencial para tratamiento biológico. El tamaño de la planta para este escenario sería de 2.000 t/día.

<sup>172</sup> Datos de la Superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD). *Óp.cit.*

<sup>173</sup> WTER. Earth Engineering Center Publications. [en línea]. Columbia University. 2004-2016. Original study <<https://www.WTERt.org.co/publicaciones>> sponsored by Banco Interamericano de Desarrollo. [citado en 2018-11-25]. Disponible en internet:

Se estima que el número de plantas WTE en USA son 87 instalaciones ubicadas en 29 estados

- **Escenario 3:** tratar los RSOU + 10 % demás biomásas. Este escenario se plantea dejando como base el tratamiento de los RSOU y considerando que a la planta podrían llegar el 10 % de los demás tipos de biomasa con potencial para tratamiento biológico. El tamaño de la planta para este escenario sería de 3.500 t/día.

**Tabla 29** Cálculo del tamaño del proyecto en Montería

Nro.	Sector	Biomasa	Oferta del proyecto	Carga del proyecto t/año		
			Potencial Biológico	Escenario 1 Solo RSOU	Escenario 2 RSOU + 5 % Biomásas	Escenario 3 RSOU + 10 % Biomásas
<b>Pecuario</b>						
1	Avícola	Estiércol	13.259		663	1.326
2	Porcícola	Estiércol	232.440		11.622	23.244
3	Bovino	Estiércol	7.398.412		369.921	739.841
<b>Agrícola</b>						
4	Arroz	Paja	0		10.429	20.8570
5	Banano	Fruto Rechazo	0		0	0
6	Café Pulpa	Pulpa	0		0	0
7	Café Mucílago	Mucilago	0		0	0
8	Maíz	Caña	0		10.379	20.757
9	Palma de Aceite	RFF Laguna Oxidación	27		1	3
10	Plátano	Fruta Rechazo	1.524.413		76.221	152.441
11	Caña de Azúcar	Bagazo	0		0	0
12	Caña Panelera	Bagazo	0		0	0
<b>Urbano</b>						
13	RSU	RSOU	138.910	166.692	166.692	166.692
14	Lodos PTAR	Lodos	0		0	0
<b>Total:</b>		<b>t/año</b>	<b>9.307.461</b>	<b>166.692</b>	<b>645.927</b>	<b>1.125.162</b>
		<b>t/día</b>		<b>534</b>	<b>2.070</b>	<b>3.606</b>
<b>Capacidad de la planta</b>				<b>550</b>	<b>2.000</b>	<b>3.500</b>

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se observa el rango de tamaños de proyecto, para los tres escenarios, corresponden en forma aproximada a los tamaños de plantas existentes en Estados Unidos, lo cual es positivo ya que para un proyecto piloto no es conveniente rebasar un rango comercial, debido a que esto dificulta la disponibilidad tecnológica para su implementación.

### 3.4 Memoria de cálculo planta WTE

De acuerdo con el alcance el estudio, en este numeral se desarrolla el diseño conceptual a nivel de prefactibilidad, que permite establecer los aspectos técnicos generales del modelo para la WTE a partir de RSU, y la producción de biogás a partir de biomásas residuales, replicables en

diferentes sectores, municipios, regiones con diversos tipos de residuos. Los resultados expuestos en este capítulo se presentan en mayor detalle en el anexo 2.

### **3.4.1 Presentación de las biomasas**

El tipo de biomasas para el diseño corresponde a RSOU, que corresponden a la fracción orgánica biodegradable de los residuos municipales. De acuerdo con la gestión integral y el tipo de manejo que se da en Colombia, se espera que estos residuos ingresen a la planta en las siguientes condiciones:

- Recolección en vehículos compactadores,
- recolección en ruta selectiva, con contenidos bajos de otros residuos (< 15 %), y
- residuos orgánicos en bolsas plásticas.

Debido a que la biomasa ingresará a la planta en bolsas y que el nivel de segregación en la fuente no será del 100 %, se requerirá implementar procesos de pretratamiento previo a su envío a proceso biológico de digestión para la producción de biogás y energía. De esta forma, la biomasa se pesará, se enviará a un foso de descargue y, desde allí, a través de banda transportadora se remitirá a un equipo rompedor de bolsas plásticas, luego a un separador magnético, posteriormente a una banda de clasificación manual y, finalmente, a un proceso de trituración antes del proceso biológico.

### **3.4.2 Registro y descargue de las biomasas**

Los vehículos recolectores al ingresar a la planta serán pesados por medio de una báscula camionera con capacidad para 40 t. En la báscula se pesarán el vehículo lleno a la entrada y vacío a la salida, con el fin de llevar un registro del 100 % de los materiales que ingresarán al proceso (fotografía 2). Luego, los vehículos pesados se dirigen la zona de descarga, y en reversa depositarán los residuos en un foso de residuos (fotografía 3)

**Fotografía 1** Presentación de las biomásas esperadas en la planta WTE



**Fuente:** INNOVA<sup>174</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Fotografía 2** Báscula de pesaje

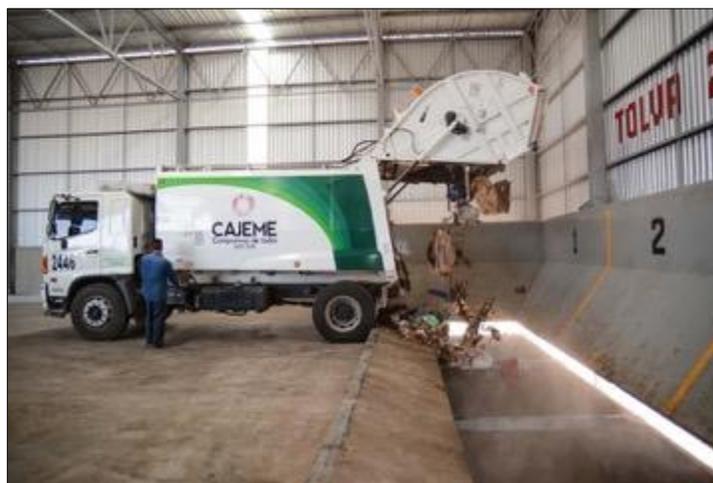


**Fuente:** ARZATE<sup>175</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

---

<sup>174</sup> INNOVA AMBIENTAL SOLVI. Planta de transferencia. [en línea]. Lima-Perú. Disponible en internet: <<http://www.innova.com.pe/servicios/recoleccion-residuos-solidos/>>

<sup>175</sup> ARZATE, Esther. Mancuerna con IP en recolección de basura. Alcaldes de México [en línea] México, 2018 [2018-1012]. Disponible en internet: <<https://www.alcaldesdemexico.com/septiembre-2018/mancuerna-con-ip-en-recoleccion-de-basura/>>

**Fotografía 3** Descargue de residuos en foso

Fuente: DE LA TORRE<sup>176</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 30 se presentan los cálculos de la zona de carga de material en foso, para los tres tamaños de planta de 550 t/día, 2000 t/día y 3.500 t/día de biomásas. Para todos los escenarios la carga de RSOU será de 534,3 t/día, que corresponden a la oferta en el área de estudio.

Se estima que cada viaje de residuos tendrá un peso promedio de 10,5 t/vehículo, lo cual ha será estimado con base en pesajes realizados en el relleno sanitario de La Pradera. Tomando en cuenta un diagrama de frecuencias de ingresos de relleno sanitario, se estima que el flujo máximo horario es de aproximadamente 3,5 veces el horario promedio horario. De esta forma, se estima que el número máximo de viajes que ingresarán a la planta será de 8 vehículos/hora en la hora pico.

**Tabla 30** cálculos de la bahía de descargue de RSOU

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
1	<b>BAHÍA DESCARGUE DE RSOU</b>					
1,1	Carga inicial, W	t/día	534,3	534,3	534,3	Material orgánico en bolsas plásticas
1,2	Densidad del material	t/m <sup>3</sup>	0,35	0,35	0,35	
1,3	Capacidad báscula de pesaje	t	40	40	40	Báscula camionera
1,4	Peso promedio por vehículo recolector	t/viaje	10,5	10,5	10,5	

<sup>176</sup> DE LA TORRE, Alejandro. Ponon en marcha centro de residuos sólidos en Cajeme. Opera ya centro de transferencia de residuos sólidos en Cajeme y es líder de preservación ambiental [en línea]. México: Revista Crónica 10, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://revistacronica10.blogspot.com/2015/06/ponon-en-marcha-centro-de-residuos.html>>

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
1,5	Viajes promedio entrada PT-WTE	Viajes/día	51	51	51	
		viajes/h	3	3	3	Ingreso las 24 H
1,6	Relación viajes máximo horario / prom. horario	viajes/viajes	3,5	3,5	3,5	Estimado con base en diagrama frecuencias en relleno sanitario
1,7	Viajes máximo entrada PT-WTE (hora pico)	viajes/h	8	8	8	
1,8	Tiempo total en la bahía de descarga (tiempo de servicio)	min/vehículo	8	8	8	Número de vehículos que se pueden atender en una unidad de servicio
		veh/h	8	8	8	
1,9	Número de unidades de servicio	Und.	2	2	2	Bahías de descarga
1,10	Ancho unitario área de descargue, a	m/veh.	3,5	3,5	3,5	
1,11	Separación entre vehículos	m	1	1	1	
1,12	Total ancho bahía de descarga, a	m	9,0	9,0	9,0	RSOU

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Con base en el pico de ingreso de vehículos, se estimó que el número de bahías de descarga (o unidades de servicio) requeridas para los RSOU será de dos. Mientras, el resto de las biomásas contarán con su propia bahía de descargue; es decir, se requerirán de cuatro y seis bahías para los escenarios 2 y 3 (el escenario 1 solo maneja RSOU) (tabla 31). Se estima que las demás biomásas ingresarán a la planta en vehículos recolectores con capacidad para 12,5 t.

**Tabla 31** Cálculos de la bahía de descarga de las demás biomásas

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
<b>2</b>	<b>Bahía descargue de las otras biomásas</b>					
2,1	Carga inicial, W	t/día	0,0	1465,7	2965,7	Material orgánico en bolsas plásticas
2,2	Densidad del material	t/m <sup>3</sup>	0,35	0,35	0,35	
2,3	Peso promedio por vehículo recolector	t/viaje	12,5	12,5	12,5	Vehículos compactadores de 25 Yd <sup>3</sup>
2,4	Viajes promedio entrada PT-WTE	Viajes/día	0	117	237	
		viajes/h	0	5	10	Ingreso las 24 H
2,5	Viajes promedio diario por vehículo	viajes/d-v	4	4	4	
2,6	Número de vehículos requeridos		0	30	60	Vehículos compactadores de 25 Yd <sup>3</sup>

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
2,7	Relación viajes máximo horario/prom. horario	viajes/viajes	3,5	3,5	3,5	Estimado con base en diagrama frecuencias en Relleno sanitario
2,8	Viajes máximo entrada PT-WTE (hora pico)	viajes/h	0	18	35	
2,9	Tiempo total en la bahía de descarga (tiempo de servicio)	min/vehículo	8	8	8	Número de vehículos que se pueden atender en una unidad de servicio
		veh/h	8	8	8	
2,10	Número de unidades de servicio	Und.	0	4	6	Bahías de descarga
2,11	Ancho unitario área de descargue, a	m/veh	3,5	3,5	3,5	
2,12	Separación entre vehículos	m	1	1	1	
2,13	Total ancho bahía de descarga, a	m	0,0	18,0	27,0	Otras biomásas

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 32 se presenta los cálculos del foso de descargue para RSOU, donde se recibirán los materiales descargados por los vehículos recolectores. El foso tendrá una capacidad de almacenamiento de 1 día, y el contenido de humedad inicial de los residuos sería del 75 %, por lo cual se requeriría que el foso contará con facilidades para evacuar el lixiviado que se genere durante escurrimiento. Todos los lixiviados que se generen durante el proceso serán recolectados y enviados por bombeo al tanque de homogenización de las biomásas.

Tabla 32 cálculos del foso de descargue RSOU

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
<b>3</b>	<b>Foso de RSOU</b>					
3,1	Carga de trabajo	t/día	534,3	534,3	534,3	
3,2	Retención	días	1	1	1	
3,3	Volumen	m <sup>3</sup>	1.526	1.526	1.526	
3,4	Profundidad	m	3,5	3,5	3,5	
3,5	Área	m <sup>2</sup>	436	436	436	
3,6	Ancho medio	m	48	48	48	
3,7	Contenido de humedad inicial	%	75	75	75	
3,8	Contenido de humedad final	%	70	70	70	
3,9	Cantidad de lixiviados	m <sup>3</sup> /d	26,7	26,7	26,7	Lixiviado a enviar al tanque homogenizador

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 33 se presenta el cálculo del foso del descargue para el resto de las biomásas, diferentes a los RSOU, el cual contará con un tornillo sin fin para poder transportar las biomásas hasta el tanque Homogenizador. Otras biomásas verdes como residuos de plátano requerirían ser trituradas antes de ser descargadas en el foso (tabla 34).

**Tabla 33** Cálculos del foso de descargue otras biomásas

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
<b>4</b>	<b>Foso de otras biomásas</b>					
4,1	Carga de trabajo	t/día	0,0	1.465,7	2.965,7	Otras biomásas
4,2	Retención	días	1	1	1	
4,3	Volumen	m <sup>3</sup>	0	4.188	8.474	
4,4	Profundidad	m	0,0	4,0	4,0	
4,5	Área	m <sup>2</sup>	0	1.047	2118	
4,6	Ancho medio	m	0	58	78	
4,7	Contenido de humedad inicial	%	75	75	75	
4,8	Contenido de humedad final	%	70	70	70	
4,9	Cantidad de lixiviados	m <sup>3</sup> /día	0,0	73,3	148,3	Lixiviado a enviar al tanque homogenizador

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Tabla 34** Trituradora de biomásas diferentes a RSOU

N	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2000 t/día	3500 t/día	
<b>5</b>	<b>Trituración otras biomásas + Cargue al homogenizador</b>					
5,1	Carga	t/día	0,0	244,3	488,6	Residuos de plátano
		t/h	0,0	14	27	
5,2	Rendimiento trituradora otras biomásas	t/h	0,0	20	50	Capacidad requerida del equipo
5,3	Número de trituradoras otras biomásas	Und.	0,0	1,0	1,0	
5,4	Tornillo sin fin para cargue	mL	0,0	30	30	Cargue a tanque homogenizador

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.2.1 Rompedora de bolsas

Del foso de descargue, los residuos serán enviados mediante banda transportadora inclinada a la rompedora de bolsas, que corresponde a un molino, donde las bolsas plásticas serán destruidas

para facilitar su retiro posterior en forma manual de la corriente de residuos (fotografía 4). En la tabla 35 se presenta el cálculo de la rompedora de bolsas, allí que se requerirá de un equipo con capacidad entre de 30 t/hora.

**Fotografía 4** Rompedora típica de bolsas



Fuente: BRT HARTNER<sup>177</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Tabla 35** Cálculos de la rompedora de bolsas

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
6	<b>Rompedoras de bolsas de RSOU</b>					
6,1	Carga:	t/día	508	508	508	
		m <sup>3</sup> /día	1.450	1.450	1.450	
		t/h	28	28	28	Para 18 horas/d
6,2	Rendimiento rompedora de bolsas:	t/h	30	30	30	
6,3	Equipo rompedora de bolsas:	Und.	1,0	1,0	1,0	
6,4	Contenido de humedad final:	%	65	65	65	
6,5	Cantidad de lixiviados:	m <sup>3</sup> /día	25,4	25,4	25,4	Lixiviado a enviar al tanque homogenizador

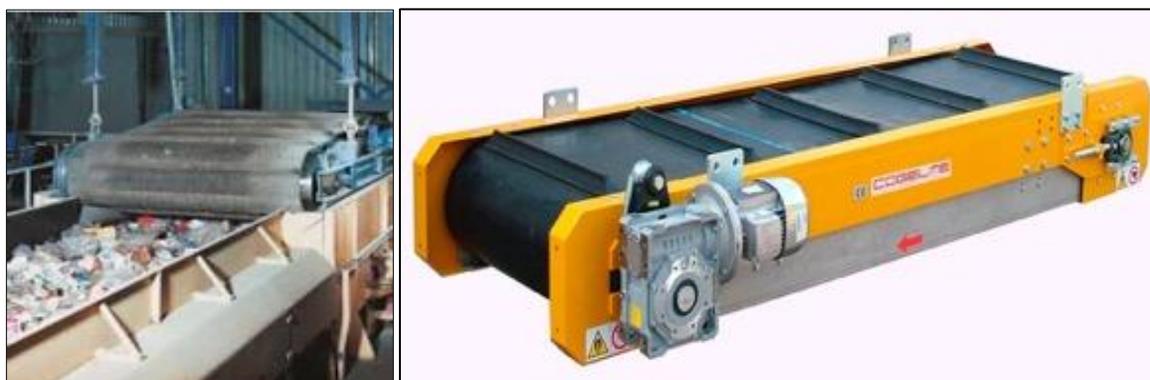
Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>177</sup> BRT HARTNER. Rompedor de bolsas. [en línea]. disponible en internet: <[https://www.eggemann-recyclingtechnology.com/fileadmin/media/Broschueren/BRT\\_HARTNER\\_Brochure\\_ES\\_Web.pdf](https://www.eggemann-recyclingtechnology.com/fileadmin/media/Broschueren/BRT_HARTNER_Brochure_ES_Web.pdf)>

### 3.4.3 Separación magnética

Los materiales que pasarán por la rompedora de bolsa, se harán pasar por una banda horizontal que los conducirá a un equipo de separación magnética, encargado de retirar los posibles metales que pudieran contener los residuos (fotografía 5). Este proceso se considera importante, ya que las biomásas que entrarán a la planta no estarán clasificados como orgánicos en un 100 %, y podrían contener materiales metálicos que podrían afectar los procesos posteriores, de esta forma se considera importante retirar los elementos metálicos. En la tabla 36 se presentan los cálculos del separador magnético, el cual requerirá que tenga la misma capacidad en t/h del rompedor de bolsas, ya que trabajarán en serie.

**Fotografía 5** Separador magnético típico de residuos



Fuente: LOGISMARKET<sup>178</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Tabla 36** Cálculos del separador magnético

N	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
7	<b>Separación magnética RSOU</b>					
7,1	Carga de trabajo	t/día	482,2	482,2	482,2	Para 18 horas/d
		t/h	28	28	28	
7,2	Rendimiento rompedora de separador magnético:	t/h	30	30	30	
7,3	% Metales	%	1	1	1	
7,4	Cantidad de metal de rechazo	t/día	4,8	4,8	4,8	Material de rechazo

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>178</sup> LOGISMARKET. [en línea]. [citado en 2018-11-14]. disponible en internet: <www.logismarket.cl/>

### 3.4.4 Clasificación en banda horizontal

Después del separador magnético, el material pasará por la banda de clasificación manual, con el fin de retirar todo tipo de material que no sea orgánico biodegradable, incluidas las bolsas de plástico en que venía los residuos desde las fuentes de consumo (fotografía 6). En la tabla 37 se presenta los cálculos de la banda, donde se observa que se requerirán entre 33 a 88 personas para realizar la labor de reciclaje, las cuales se ubicarán a lado y lado de la banda.

Fotografía 6 Banda típica de clasificación de residuos



Fuente: GARCIA<sup>179</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Tabla 37 cálculos de la banda de clasificación manual

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2000 t/día	3500 t/día	
<b>8</b>	<b>Clasificación manual en banda horizontal RSU</b>					
8,1	Carga	t/día	477,4	477,4	477,4	
8,2	Rendimiento por persona	t/d-p	7,0	7,0	7,0	Para 8 horas/día
8,3	Número de personas requeridas	Und	69	69	69	
8,4	Longitud de la banda	m	52,0	52,0	52,0	
8,5	% material de rechazo	%	5	5	5	
8,6	Cantidad de material de rechazo	t/día	26,7	26,7	26,7	
8,7	Densidad de bolsas compactado, potencia enfardado 100 HP	t/m <sup>3</sup>	0,35	0,35	0,35	
8,8	Volumen de enfardado	m <sup>3</sup> /día	76,3	76,3	76,3	
8,9	Rendimiento enfardador	m <sup>3</sup> /h	4,0	5,0	5,0	Para 8 horas/día
8,10	Número de enfardadoras de rechazo	Und	2,0	2,0	2,0	Para 8 horas/día
8,11	Número de fardos	Und/d	77,0	77,0	77,0	

<sup>179</sup> GARCIA S. trabajadores seleccionan la basura en la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Badajoz. [en línea] En: Lacronicabadajoz.com. 2011. Disponible en internet: <[https://www.lacronicabadajoz.com/noticias/extremadura/eciclaje-cae-saco-roto\\_78219.html](https://www.lacronicabadajoz.com/noticias/extremadura/eciclaje-cae-saco-roto_78219.html)>

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2000 t/día	3500 t/día	
8,12	Tiempo de almacenamiento	Día	3,0	3,0	3,0	
8,13	Niveles de fardos	Und.	3,0	3,0	3,0	
8,14	Área Almacén fardos	m <sup>2</sup>	104,0	104,0	104,0	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

El material de rechazo obtenido en la clasificación será colocado en vagones y transportado en forma manual hasta la zona de embalaje y almacenado, para su posterior disposición externa o comercialización. El material de enfardado contará con un área de almacenamiento con capacidad para 3 días.

### 3.4.5 Trituración de material orgánico

El material clasificado en la banda horizontal será enviado igualmente mediante banda al siguiente proceso. Se realizará la trituración mecánica del material orgánico, con el fin de reducir su tamaño y lograr mayor eficiencia en el proceso biológico posterior, para lo cual se empleará un triturador (fotografía 7), 1 solo equipo, con capacidad de 15 a 40 t/h (tabla 38).

Fotografía 7 Trituradora típica de material orgánico



Fuente: RECIMAQ<sup>180</sup> y LOGISMARKET<sup>181</sup>. Adaptador por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Tabla 38 Cálculos trituradora de material orgánico

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550	2.000	3.500	
9	<b>Trituración de orgánicos RSOU</b>					
9,1	Carga:	t/día	450,6	450,6	450,6	

<sup>180</sup> RECIMAQ. Trituradora de residuos [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.recimaq.com/portfolio-item/triturador-de-residuos/>>

<sup>181</sup> LOGISMARKET. Trituradora para residuos orgánicos (Forrec LS) [en línea]. [citado en 2018-11-14]. disponible en internet: <[www.logismarket.cl/](http://www.logismarket.cl/)>

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550	2.000	3.500	
		t/h	25	25	25	
9,2	Rendimiento triturador de orgánicos	t/h	30	30	40	Capacidad requerida del equipo
9,3	Número de trituradoras de orgánicos	Und.	1,0	1,0	1,0	
9,4	Contenido de humedad final	%	60	60	60	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.6 Cálculo del reactor de biogás

El proceso de tratamiento para la valoración energética corresponde a la digestión anaeróbica. Estas tecnologías aprovechan la propiedad de biodegradación que tienen las biomásas, las cuales son transformadas por acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Estos procesos se pueden realizar a temperatura ambiente o un poco más elevada para mejorar la eficiencia. La tecnología basada en digestión anaerobia de la materia orgánica produce dos tipos de corrientes:

- Biogás combustible con una concentración de metano superior al 60 %, y poder calorífico del orden de 5.500 kcal/m<sup>3</sup>, inferior al gas natural, ya que en este la concentración de metano es del 95 %.
- Biosólido húmedo, que es rico en nutrientes, el cual puede ser empleando en el mejoramiento de suelos.

Las partes de la planta de valorización de biogás son las siguientes:

- Tanque de homogenización e hidrolización, donde se reciben las biomásas y se preparan para el proceso de digestión.
- Tanque de digestión o metanización, donde la biomasa produce el biogás, en condiciones anaeróbicas; genera también lodos o digesto para su tratamiento o aprovechamiento.
- Tratamiento de biogás. El biogás es llevado a una unidad de tratamiento, con el fin de quitarle impurezas y mejorar su calidad de acuerdo con su uso final.
- Tanque de almacenamiento de biogás producido. El biogás es almacenado para ayudar a regular el suministro, antes de enviarlo a su destino final.
- Valorización del biogás, donde puede ser usado como combustible para generar energía o inyectado a una línea de gas domiciliario, previo enriquecimiento de la concentración de metano. Para el caso de este diseño conceptual, el biogás es utilizado como combustible para la generación y comercialización de energía eléctrica.

### 3.4.6.1 Potencial de biogás, P

Cada tipo de biomasa presenta un potencial de producción de biogás que se puede desarrollar dentro de un reactor. En la tabla 39 se presenta el potencial de generación para diferentes tipos de biomasa; para el caso de RSU orgánicos se trabajó con 66 m<sup>3</sup> biogás/t de RSOU.

**Tabla 39** Potencial de producción de biogás de las biomásas

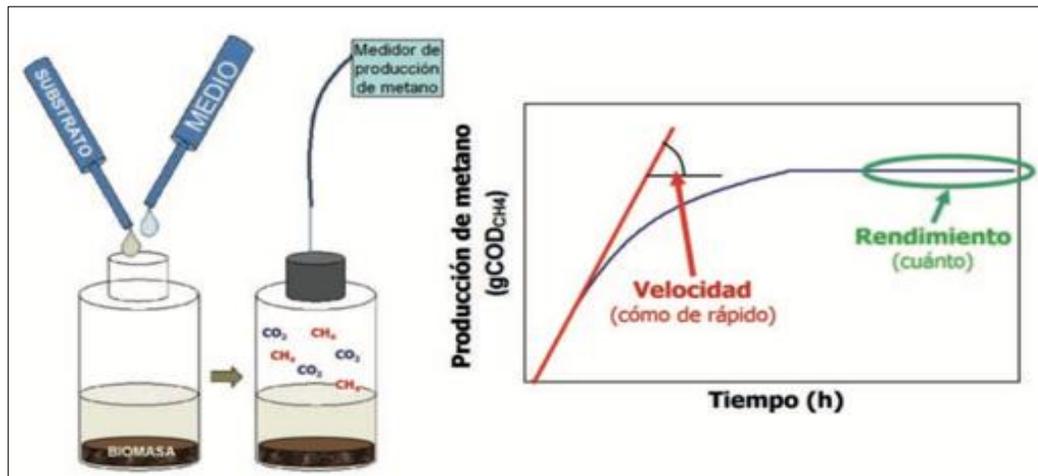
Nro.	Sector	Biomasa	Potencial, P		Fuente de información
			Unidad	Valor	
<b>Pecuario</b>					
1	Avícola	Estiércol	Biogás m <sup>3</sup> /t estiércol	60	UPME. UNAL. 2018
2	Porcícola	Estiércol	Biogás m <sup>3</sup> /t estiércol	40	UPME. UNAL. 2018
3	Bovino	Estiércol	Biogás m <sup>3</sup> /t estiércol	40	UPME. UNAL. 2018
<b>Agrícola</b>					
4	Arroz	Paja	Biogás m <sup>3</sup> /t arroz	73	UPME. UNAL. 2018
5	Banano	Fruto Rechazo	Biogás L/kg banano rechazo	5	UPME. UNAL. 2018
6	Café pulpa	Pulpa	Biogás L/kg Pulpa	25	UPME. UNAL. 2018
7	Café mucílago	Mucilago	Biogás MJ/kg Mucílago	74	UPME. UNAL. 2018
8	Maíz (maíz t/año)	Caña	Biogás m <sup>3</sup> /t maíz	55	UPME. UNAL. 2018
9	Palma de aceite (RFF t/año)	Laguna Oxidación	Biogás m <sup>3</sup> /TRFF	20	UPME. UNAL. 2018
10	Plátano	Fruta Rechazo	Biogás L/kg banano rechazo	2	UPME. UNAL. 2018
11	Caña de azúcar	Bagazo	Biogás MJ/Kg Bagazo	0,17	UPME. UNAL. 2018
12	Caña panelera	Bagazo	Biogás MJ/Kg Bagazo	1,16	UPME. UNAL. 2018
<b>Urbano</b>					
13	RSU	RSOU	Biogás m <sup>3</sup> /t RSOU	66	UPME. UNAL. 2018
14	Lodos PTAR	Lodos	Biogás L/m <sup>3</sup> agua tratada	55	UPME. UNAL. 2018
<b>Industrial</b>					
15	Lácteo	Grasas, Lodos	Biogás L/m <sup>3</sup> Leche procesada	38	UPME. UNAL. 2018
16	Cervecería	Lodos	CH <sub>4</sub> L/t cebada procesada	67	UPME. UNAL. 2018
17	Destilería	Vinazas (m <sup>3</sup> )	Biogás m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> Vinaza procesada	45	UPME. UNAL. 2018
18	Matadero	Rumen	Biogás m <sup>3</sup> /t rumen	90	UPME. UNAL. 2018

**Fuente:** UPME-UNAL<sup>182</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De todas formas, para un nivel de diseño de un determinado tipo de biomasa, es recomendable estimar el potencial de aprovechamiento de biogás mediante prueba de laboratorio. Este tipo de prueba también es recomendable como parte del control de proceso (figura 22).

<sup>182</sup> UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento. *Óp. cit.*

Figura 22 Prueba para determinar el potencial metanogénico de una biomasa



Fuente: CHIVA V. *et al.*<sup>183</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

A partir del potencial de generación unitario de cada tipo de biomasa se estimó la cantidad total de biogás para los tres escenarios del proyecto (tabla 40).

Tabla 40 Cálculo de la producción de biogás en la planta WTE

Nro.	Sector	Biomasa	Biogás m <sup>3</sup> /año		
			Escenario 1 Solo RSOU	Escenario 2 RSOU + 5 % Biomosas	Escenario 3 RSOU + 10 % Biomosas
<b>Pecuario</b>					
1	Avícola	Estiércol	0	39.778	79.555
2	Porcícola	Estiércol	0	464.881	929.762
3	Bovino	Estiércol	0	14.796.836	29.593.672
<b>Agrícola</b>					
4	Arroz	Paja	0	761.288	1.522.577
5	Banano	Fruto Rechazo	0	0	0
6	Café Pulpa	Pulpa	0	0	0
7	Café Mucílago	Mucílago	0	0	0
8	Maíz	Caña	0	570.827	1.141.654
9	Palma de Aceite	RFF Laguna Oxidación	0	27	53
10	Plátano	Fruta Rechazo	0	114.938	229.876
11	Caña de Azúcar	Bagazo	0	0	0
12	Caña Panelera	Bagazo	0	0	0
<b>Urbano</b>					
13	RSU	RSOU	11.001.677	11.001.677	11.001.677
14	Lodos PTAR	Lodos	0	0	0

<sup>183</sup> CHIVA V., Sergio, et. al. Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia [en línea]. Universitat Jaume I y FACSÀ, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva\\_2018\\_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva_2018_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

Total		11.001.677	27.750.251	44.498.825
	m <sup>3</sup> /d	35.262	88.943	142.624

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.6.2 Homogenización e hidrolización

Previo al envío del material al reactor de biogás, se preparará la mezcla del sustrato en un tanque homogenizador, donde se controla el pH, la temperatura, el contenido de humedad, entre otros. En este tanque y a temperatura entre 30 °C a 35 °C, se garantizará un ambiente mesofílico y se iniciará el proceso de hidrólisis o rompimiento de las moléculas proteínicas más grandes contenidas en el sustrato (fotografía 8).

La mezcla en el homogenizador se realizará mediante las corrientes de biomasa y lixiviados generados en toda la planta, así como agua tratada (p. ej., proveniente del tratamiento del digesto), de tal forma que se logrará un contenido de humedad en el residuo del 95 %. De todas formas, el tanque contará con recirculación de corriente para permitir la homogenización de la mezcla. En plantas de biogás, el tanque homogenizador también será empleado para mezclar diversas biomasa que permitirán mejorar la relación carbono/nitrógeno, tomando en cuenta que cuando una biomasa tiene una muy baja relación C/N el contenido de nitrógeno es muy alto, lo cual podría generar excesos de amoníaco en el proceso biológico que podrá inhibir el mismo; este caso es muy común en biomasa como la gallinaza y la pollinaza.

Para mantener la temperatura en el tanque, el sistema contará un intercambiador de calor que consiste en una corriente de agua o aire caliente, donde se hace pasar una corriente recirculada del tanque por un serpentín para que ocurra el intercambio. La fuente de calor del intercambiador corresponderá los motores de combustión empleados para la generación eléctrica o incluso se podrá usar calderas que puedan funcionar con biogás.

**Fotografía 8** Tanque típico de hidrolización en una planta de biogás

Fuente: Clean Energy World<sup>184</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 41 se presentan los cálculos del tanque de homogenización estimado para un tiempo de retención de 2 días; de esta forma, el tamaño del tanque requerido será 850 a 2.550 m<sup>3</sup> dependiendo del tamaño de la planta.

**Tabla 41** Cálculos del tanque de homogenización

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
10	<b>Homogenización biomásas (RSOU + otras biomásas)</b>					
10,1	Carga	t/día	451	1.916	3.416	RSOU + VERDES
		m <sup>3</sup> /día	1.288	5.475	9.761	
10,2	Contenido de Humedad inicial	%	60	60	60	
		t/día	270	1150	2.050	Contenido de agua en la biomasa
10,3	Carga seco	t/día	180	767	1.367	
10,4	Contenido de Humedad en el Homogenizador	%	95	95	95	Humedad de diseño
10,5	Densidad del sustrato en el homogenizador	t/m <sup>3</sup>	1	1	1	
10,6	Aporte lixiviados pretratamiento	m <sup>3</sup> /día	52	125	200	Lixiviados recolectados en pretratamiento
10,7	Adición de agua de mezcla	m <sup>3</sup> /día	766	3.258	5.808	Cantidad de agua requerida para alcanzar humedad de diseño en el Homogenizador
10,8	Cantidad de agua total en la mezcla	m <sup>3</sup> /día	1.089	4.533	8.058	
10,9	Volumen diario de mezcla en el homogenizador	m <sup>3</sup> /día	2.376	10.008	17.819	

<sup>184</sup> En: Clean Energy World. CLEAN ENERGY WORLD. Biogest Presents Innovative Technology For Integrated Systems At Biogas Plants [en línea]. Reino Unido, 2016 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <internet: <<http://www.cleanenergyworld.net/biogest-presents-innovative-technology-integrated-system-biogas-plants.html>>

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
10,10	Tiempo retención homogenizador	días	3	3	3	
10,11	Volumen Tanque Homogenizador	m <sup>3</sup>	7.128	30.025	53.457	
10,12	Volumen 1 TQ Homogenizador	m <sup>3</sup>	10.000	20.000	20.000	
10,13	Número de TQs Homogenizador	Unidad	1,0	2,0	3,0	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.6.3 Digestor anaeróbico

El sustrato obtenido en el tanque homogenizador será enviado por bombeo al tanque digestor. En el digestor ocurrirá el proceso biológico de transformación de la biomasa, en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transformará por acción de microorganismos en biogás y bioabono, a través de una serie de reacciones bioquímicas en las que participan microorganismos, una parte es oxidados completamente por el carbono formando anhídrido carbónico, mientras otra es reducida para formar metano<sup>185</sup>. El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis, y metanogénesis (fotografía 9).

Fotografía 9 Tanque típico de digestión en una planta de biogás



Fuente: COCCHI<sup>186</sup> y PESCHEL<sup>187</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>185</sup> OLAYA, Yeison y GONZÁLEZ, Luis. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas [en línea]. Palmira: Universidad Nacional. 2009. pp. 8-9 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>>

<sup>186</sup> COCCHI, Maurizio. Weltec Biopower Builds 500 kW Biogas Plant for Vegetable Producer. BE Sustainable [en línea]. Marzo, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.besustainablemagazine.com/cms2/weltec-biopower-builds-500-kw-biogas-plant-for-vegetable-producer/>>

<sup>187</sup> PESCHEL, Tanja. 1 MW biogas plant in Australia SUN&WIND ENERGY [en línea]. Alemania, noviembre, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.sunwindenergy.com/bioenergy/1-mw-biogas-plant-australia>>

El digestor contará con los siguientes componentes:

- Un sistema de carga por bombeo desde el tanque homogenizador.
- Un sistema de agitación mecánica para mantener homogenizada la mezcla.
- Un sistema de regulación de temperatura mediante intercambiador de calor. El sistema incluye la recirculación del sustrato por un intercambiador, el cual contiene una corriente de agua y/o gas caliente que proviene del motor de generación.
- Una campana de captura de biogás, la cual normalmente es geomembrana, lo que permite amortiguar las presiones; esta campana puede tener una capa de aire adicional para regular la temperatura del biogás.
- Un sistema de inyección de aire, el cual permite controlar la concentración de  $H_2S$  y  $NH_3$  en el biogás que sale de la campana.
- Un sistema de evacuación por bombeo del digestato o sustrato estabilizado.

#### Tiempo de retención

El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente y en condiciones óptimas del proceso, con una temperatura de 35 °C, el tiempo de retención ( $T_r$ ) deberá ser de 27 días.

Los tiempos de retención recomendados en reactor son los siguientes:

- Ambiente psicrófilico: > 40 días
- Ambiente mesófilico: 10 a 40 días
- Ambiente termófilico: < 20 días

Para efectos del diseño conceptual, se ha elegido un ambiente mesófilico.

#### Contenido de agua en el sustrato

Cuando el material de sustrato corresponde a residuos vegetales, se requerirá agua, en una razón de 1:3 a 1:4, de tal forma que la humedad en el reactor alcance el 5 %. La actividad de mezclar deberá realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, por lo cual el digestor en su parte interna contará con mezcladores. Se deberá observar que el agua empleada en el proceso esté libre de cloro ya que este elemento puede afectar la actividad bacteriana.

### Intercambiador de calor

El biodigestor podrá trabajar en tres ambientes anaeróbicos, en función de la temperatura. Un adecuado funcionamiento del biodigestor para cada ambiente, recomienda los siguientes rangos de temperatura: 0 °C – 20 °C, para el ambiente psicofílico; 20 °C – 45 °C, para el ambiente mesofílico; y 45 °C – 97 °C, para el ambiente termofílico. Para aumentar la eficiencia, el biodigestor contará con intercambiadores de calor para calentar el agua o mantenerla caliente dentro del digestor, con el fin de buscar que el reactor trabaje en un ambiente mesofílico, ya que la eficiencia de producción de biogás será mayor. Teniendo en cuenta los parámetros operativos requeridos, en la tabla 42 se presentarán los cálculos del biodigestor, en la que se observa que se requerirán 2 unidades de 35.000 m<sup>3</sup> para el Escenario 1, 6 de 50.000 m<sup>3</sup> para el Escenario 2, y 10 de 50.000 m<sup>3</sup> para el Escenario 3.

**Tabla 42** Cálculos del digestor de biogás

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
<b>11</b>	<b>Digestión anaeróbica (RSOU + otras biomásas)</b>					
11,1	Carga	t/día	451	1.916	3.416	Peso húmedo
		m <sup>3</sup> /día	1.288	5.475	9.761	
11,2	Temperatura de trabajo	°C	35	35	35	Para operación en rango Mesofílico
11,3	Tiempo de retención	días	27	27	27	Para operación en rango Mesofílico
11,4	Volumen de digestor	m <sup>3</sup>	64.155	270.227	481.116	
11,5	Diámetro reactor	m	40	50	50	
11,6	Área reactor	m <sup>2</sup>	1.261	1.970	1.970	
11,7	Altura reactor	m	25	25	25	
11,8	Volumen 1 reactor	m <sup>3</sup>	31.516	49.244	49.244	
		m <sup>3</sup>	35.000	50.000	50.000	
11,9	Número de Reactores	Unidad	2,0	6,0	10,0	

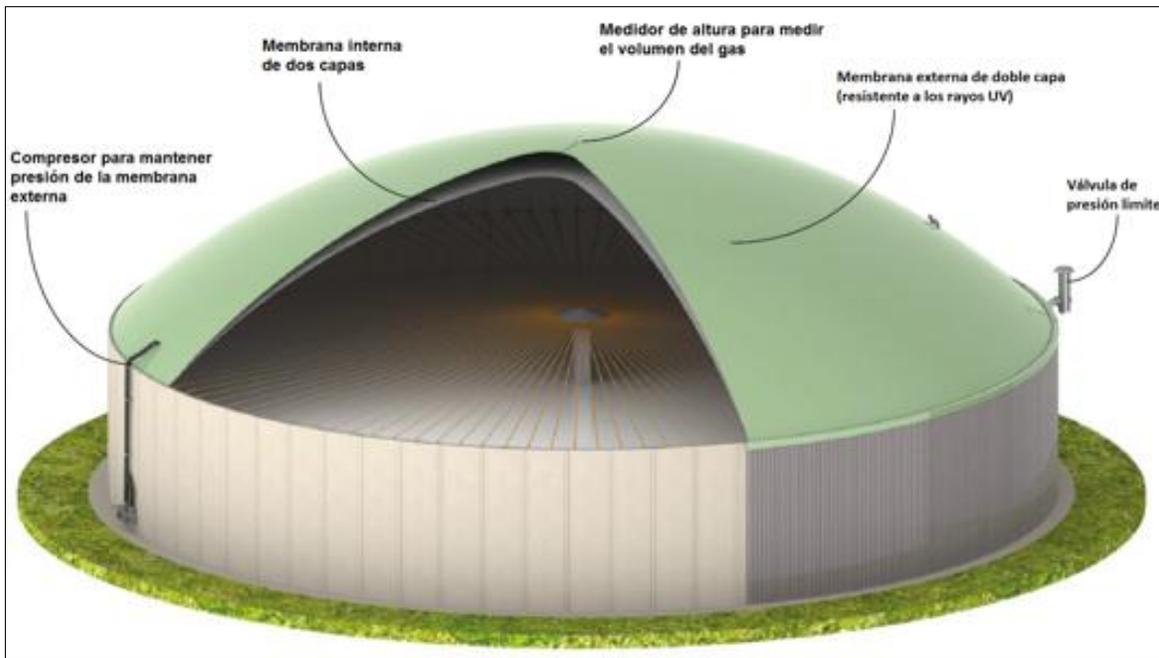
Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

#### 3.4.6.4 Tamaño del tanque de almacenamiento de biogás

La experiencia práctica indica que entre el 40% y el 60% de la producción diaria de gas normalmente tendrá que ser almacenada; por lo tanto, en la mayoría de los casos se requerirá de un tanque de almacenamiento del biogás o gasómetro. Esta herramienta corresponde a un dispositivo acumulador de biogás, capaz de equilibrar las fluctuaciones de la producción, el consumo y los cambios de volumen asociados principalmente a cambios en la temperatura y producción. Está constituido por dos membranas: la interna, que contiene la reserva de biogás, y la externa, la cual rodea la membrana interna y está a una presión determinada, permitiendo la inyección de biogás a una presión controlada (figura 23).

Un factor importante en el dimensionamiento del sistema tiene que ver con la relación volumen del digester y el volumen del tanque de almacenamiento. Para una planta de biogás agrícola, la relación  $V_d/V_g$  está en el rango de 3:1 a 10:1 que recomendándose la relación 5:1 a 6.

**Figura 23** Tanque típico de almacenamiento de biogás



Fuente: FLEXSOL, 2016<sup>188</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.6.5 Tratamiento del biogás para equipos que producen electricidad

El biogás generado por la digestión biológica de las biomásas tienen como principal componente el metano y el dióxido de carbono; sin embargo, estas biomásas tienen otros gases, algunos los cuales requieren ser tratados previo a su uso final (tabla 43). La generación de electricidad utilizando biogás en motores de combustión interna requiere de la purificación del biogás con la finalidad de reducir aquellos constituyentes que resultan agresivos para los motores o producen niveles de emisión de contaminantes por encima de los niveles permitidos. Dependiendo del tipo de uso del biogás, se debe implementar el tipo de tratamiento (figura 24).

El contenido de sulfuro de hidrógeno,  $H_2S$ , no debe superar los  $200 \text{ mg/Nm}^3$  y el contenido de  $NH_3$  no debe superar los  $20 \text{ mg/Nm}^3$ . El sulfuro de hidrógeno en combinación con el vapor de agua en el biogás crudo puede formar ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), el cual es muy corrosivo para los

<sup>188</sup> FLEXSOL. Biogás [en línea]. Ucrania, 2016 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://flexsol.com.ua/es/biogas-plant-es/cubierta-para-gasometro-ab-cover/>>

motores y sus componentes, además, en concentraciones sobre 100 ppm en volumen, el H<sub>2</sub>S es también muy tóxico. Otra forma de lavar el sulfuro de hidrógeno es usando soluciones de NaOH, en un equipo llamado Scruber, donde el gas pasa en contra corriente, también se pueden emplear filtros biológicos o sales de hierro.

Para la remoción de sulfuro de hidrógeno y siloxanos, se pueden usar filtros de carbón activado con una vida útil que depende del plan de operación y mantenimiento. El carbón activado actúa como catalizador convirtiendo el H<sub>2</sub>S en azufre elemental (S). En general, se dimensionan para una vida útil de un año con controles periódicos para asegurar la capacidad de remoción del filtro. El contenido de las impurezas no debe superar los 30 mg/Nm<sup>3</sup>, la granularidad no debe superar los 5 µm y el contenido de agua en el biogás no debe superar los 40 g/Nm<sup>3</sup>.

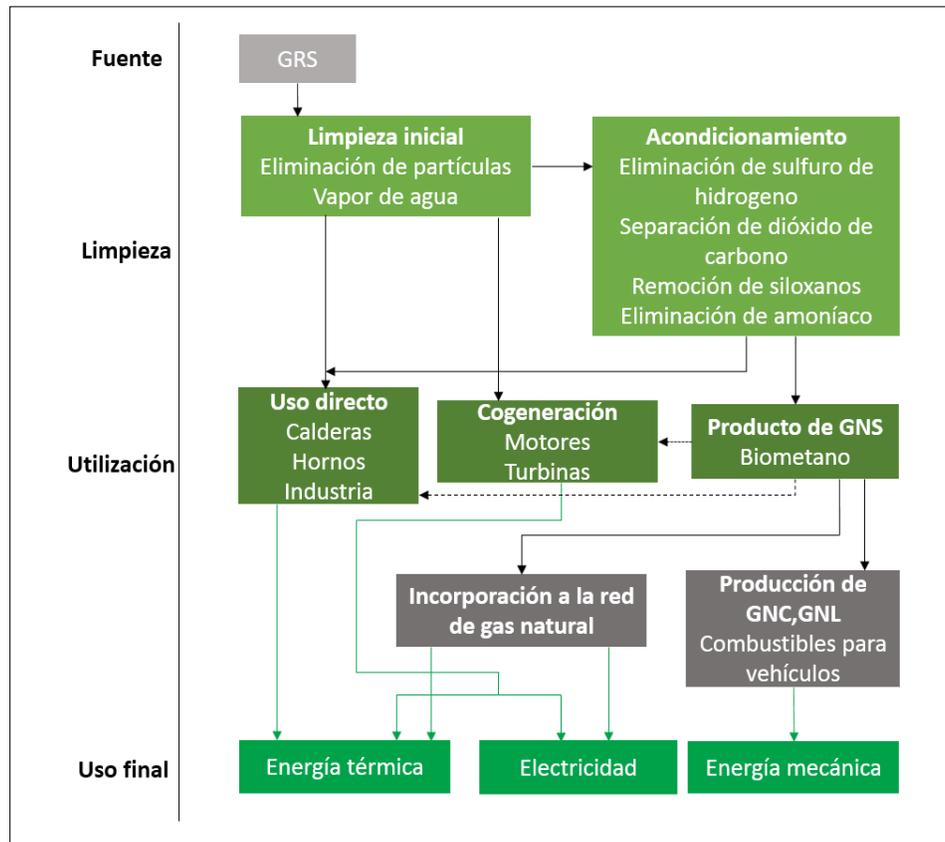
**Tabla 43** Calidad típica de biogás de algunas biomásas

Gas	Unidad	Fuente				Características
		Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Rellenos Sanitario	
Metano, CH <sub>4</sub>	%	30 - 80	40 - 80	40 - 80	45 - 65	Inflamable, inodoro
Dióxido de Carbono, CO <sub>2</sub>	%	30 - 50	20 - 50	30 - 50	30 - 55	Forma ácido, inodoro, asfixiante
Vapor de agua		Saturación	Saturación	Saturación	Saturación	Corrosivo
Ácido sulfhídrico, H <sub>2</sub> S	ppm	100 - 3.000	0 - 1.000	0 - 5.000	0 - 10.000	Inflamable, tóxico, fétido
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	%	0 - 2	0 - 5	0 - 2	0 - 2	Inflamable, inodoro
Amoniaco, NH <sub>3</sub>	%	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 1	Corrosivo, Irritante
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	%	0 - 15	0 - 3	0 - 1	0 - 30	Inerte, inodoro, asfixiante
Oxígeno, O <sub>2</sub>	%	0 - 1	0 - 1	0 - 1	0 - 5	Corrosivo
Orgánicos	ppm	Trazas	Trazas	0 - 5	10	Corrosivo, olores

Fuente: AQUALIMPIA<sup>189</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>189</sup> AQUALIMPIA. Biodigestores. [en línea]. 2018. [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://www.aqualimpia.de/>>

Figura 24 Tipos de tratamiento de acuerdo con el uso final del biogás



Fuente: BLANCO *et. al.*<sup>190</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.6.6 Antorcha para quemado de excesos

La planta contará con una antorcha que cumplan la función de liberar y combustionar el gas de forma segura y controlable en situaciones de emergencia, evitando su emisión directa a la atmósfera; adicionalmente, se utilizarán para eliminar los excedentes de gas y las puntas producidas en caso de parada de los quemadores o motores. Dicha antorcha estará diseñada para quemar volúmenes de biogás relativamente bajos, compuestos principalmente por gas metano típicamente húmedos, con valores reducidos de poder calorífico (5,0 kWh/kg a 6,0 kWh/kg).

La antorcha contará con un piloto de biogás que permitirá la ignición del quemador principal dentro del proceso de encendido. Asimismo, el quemador tendrá con un obturador que permitirá

<sup>190</sup> BLANCO, Gabriel, *et. al.* Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico [en línea]. Washington, 2017, p. 7 [citado en 2018-10-12]. Disponible en: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8202/Generacion-de-electricidad-a-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos-Un-analisis-teorico-practico.PDF?sequence=1&isAllowed=y>>

ajustar manualmente el ingreso de aire a la cámara de combustión, ajustando la disponibilidad de aire en caso de fluctuación del suministro de biogás. En la línea de suministro de biogás desde el digestor y a la llegada de la antorcha existirá una válvula reguladora de presión que normalizará el flujo hacia el gasómetro o hacia la propia antorcha. Dependiendo de la presión, el biogás será conducido hacia la antorcha (sobrepresión) o hacia el gasómetro (infrapresión).

### 3.4.7 Potencia disponible y potencia por instalar

Siguiendo la Guía del Banco Interamericano de Desarrollo de 2017, para estimar la potencia disponible de los equipos de generación de biogás, se puede emplear la siguiente expresión:

$$\text{Potencia disponible (kW)} = \eta_t \times \text{PCI}_{\text{biogas}} \times Q_{\text{biogás}}$$

Donde,

- $\eta_t$ : rendimiento térmico de la generación eléctrica del equipo. Se asume valores de 25 %, 33 % y 40 % para los escenarios bajo, medio, y alto, respectivamente.
- PCI biogás: poder calorífico inferior del biogás, se asume 5 kWh/m<sup>3</sup> de metano.
- Q biogás: caudal de biogás capturado, escenarios bajo, medio, y alto (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/h).

La energía eléctrica que se puede generar se estima en función de la potencia disponible y un factor de disponibilidad de 85 % por mantenimiento según:

$$\text{Electricidad (kWh)} = (\text{Potencia disponible}) * \text{Factor de disponibilidad}$$

La conexión a la red eléctrica implica la instalación de una red eléctrica, provista de un transformador que regule la entrada a la red. En todo caso, la instalación requiere ajustarse a las normas y requerimientos de la empresa administradora de la red.

En la tabla 44 se presenta el potencial energético de los residuos para diferentes fuentes de información. Se observa que el potencial de generación de biogás puede variar de 165 m<sup>3</sup>/t RSOU hasta 230 m<sup>3</sup>/t RSOU; sin embargo, este potencial por lo general se desarrolla en menos del 50 %. En el *Atlas del potencial energético de las biomásas*, la UPME adoptó un valor de 66 m<sup>3</sup>/t RSOU, por lo que este valor será considerado para efectos del presente modelo. Lo recomendable es realizar una prueba específica de la biomasa sobre el potencial de metano cuando el proyecto se lleve a nivel de factibilidad.

**Tabla 44** Potencial energético de los residuos sólidos urbanos

Parámetro	Unidad	Valor	Fuente	Observación
Biogás	m <sup>3</sup> /t RSOU	165 a 215	EPA	Potencial. Rango para residuos urbanos húmedos
	m <sup>3</sup> /t RSOU	227,5	INERCO, 2018	Potencial. Valor estimado siguiendo la metodología de Tchobanoglous
	m <sup>3</sup> /t RSOU	92,3	CFE. México, 2012	Estimado para 65 % de Metano
	m <sup>3</sup> /t RSOU	66	UNAL 2018 (EPM, 2016) FENOSA.)	Rango típico 60 m <sup>3</sup> a 150 m <sup>3</sup> biogás / t RS
	m <sup>3</sup> /t RSOU	60	Vermehren, M.a*, Erlwein, A. Uni Austral. Chile	Estimado para 50 % de Metano
Poder calorífico	kW/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	5,0	BID 2017. Guía de recuperación de energía	Guía de diseño
	kW/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	4,6	Manual biogás Chile	Para 65 % de Metano
	kW/m <sup>3</sup> Biogás	6	Aqualimpia	50 % a 75 % de Metano

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En la tabla 45 se presentan los cálculos de la generación eléctrica, allí se observa que para los tres tamaños de planta se requiere de equipos de 0,70 MW, 1,4 MW y 2,0 MW de potencia. En la tabla 46 se presentan los tipos de equipos disponibles para generación eléctrica a partir de biogás, donde los motores de generación a partir de combustión interna pueden ser aplicables al proyecto piloto, tomando en cuenta que estos se fabrican en rangos de 0,5 MW a 3 MW, los cuales son muy comunes en el mercado.

**Tabla 45** Cálculos de generación eléctrica y potencia de los equipos

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
12	Producción de energía					
12,1	Cantidad RSO	t/día	451	1.916	3.416	Peso húmedo
		m <sup>3</sup> /día	1.288	5.475	9.761	
12,2	Tasa de generación	m <sup>3</sup> /t RS	78	46	42	Rango típico 60 a 150 m <sup>3</sup> biogás/t RS
12,3	Generación biogás	m <sup>3</sup> /día	35.262	88.943	142.624	% CH <sub>4</sub> , 65 %
		m <sup>3</sup> /h	1.469	3.706	5.943	24 horas
		m <sup>3</sup> /min	24	62	99	25 horas
12,4	Poder calorífico inferior biogás	kW/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	5	5	5	
12,5	% CH <sub>4</sub> biogás	%	65	65	65	Contenido de metano en el Biogás
12,6	Rendimiento térmico	%	35	35	35	
12,7	Potencial disponible	kWh	1.671	4.216	6.760	
12,8	Factor de disponibilidad	%	85	85	85	
12,9	Electricidad generada	KWh/día	34.094	85.997	137.900	

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550 t/día	2.000 t/día	3.500 t/día	
12,10	Potencia del equipo	kW	1.700	4.000	6.500	Capacidad Equipo de generación eléctrica

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

**Tabla 46** Tipos de equipos de generación de energía a partir del biogás

Nro.	Tipo de equipo	Eficiencia	Tamaño		Observaciones	Costo
			Caudal	Potencia		
1	Motor de combustión interna (reciprocantes)	25 % a 35 %	8 m <sup>3</sup> /min a 30 m <sup>3</sup> /min	0,8 MW a 3 MW	Puede trabajar con biogás de 50 % de CH <sub>4</sub>	Bajo
2	Turbinas	20 % a 30 %	> 40 m <sup>3</sup> /min	3 MW a 5 MW	Requiere remoción de siloxanos del biogás	Medio
3	Microturbinas	< 8 m <sup>3</sup> /min	< 8 m <sup>3</sup> /min	30 MW a 250 kW	Puede trabajar con contenidos bajos de metano menores a 35 %	Alto

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.8 Manejo del digestato

Como subproducto del proceso en el tanque de digestión, se obtiene materia orgánica estabilizada rica en elementos minerales. En función a la carga usada y el proceso seguido, esta materia orgánica, también conocida como bioabono puede presentarse de dos formas: líquida y sólida.

- Biofertilizante en forma líquida: proveniente de digestores continuos con una alta tasa de carga y un bajo contenido de sólidos totales (inferior al 12 %), el inconveniente es su comercialización por el estado físico de su presentación.
- Biofertilizante en forma sólida: proveniente de digestores *batch* o semicontinuos con buen poder fertilizante, que luego de ser secado se puede comercializar sin problemas.

En general, todos los productos orgánicos obtenidos, independientemente del proceso utilizado para su estabilización, son buenos acondicionadores o mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, porque aportan niveles interesantes de materia orgánica estabilizada. Ellos presentan una textura física particular de baja densidad (del orden de 0,5 gr/cc) y baja resistencia mecánica; por lo tanto, la incorporación de estos sustratos orgánicos en el suelo permite mejorar su estructura, reducir los problemas de compactación y susceptibilidad de erosión, incrementar la capacidad de retención de agua, así como el intercambio gaseoso, y favorecer el desarrollo radical. Sin embargo, la clasificación como biofertilizante, depende de las características

bioquímicas de las materias primas utilizadas, de forma que, si estas contienen altos niveles de nutrientes, generarán productos con características de fertilizantes orgánicos.

**Tabla 47** Cálculo de la producción del biodigestato

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550	2.000	3.500	
<b>13</b>	<b>Manejo del Digestato</b>					
13,1	Fracción de digestato	%	97	97	97	
13,2	Producción de digestato	m <sup>3</sup> /día	576	2.427	4.321	
		t/día	576	2.427	4.321	
13,3	Contenido de Humedad inicial:	%	95	95	95	
		t/día	547	2.306	4.105	
13,4	Sólidos secos	t/día	29	121	216	
13,5	Tiempo de retención	días	3	3	3	
13,6	Volumen del reactor de digestato	m <sup>3</sup>	1.729	7.281	12.963	
13,7	Contenido de humedad final para tratamiento final	%	35	35	35	
13,8	Cantidad de agua producida residual	m <sup>3</sup> /d	346	1.456	2.593	Agua residual orgánica a recircular al homogenizador
13,9	Densidad de digestato deshidratado	t/m <sup>3</sup>	0,6	0,6	0,6	
13,10	Cantidad de digestato deshidratado	t/día	230	971	1728	Con humedad del 35 %
		m <sup>3</sup> /día	384	1.618	2.881	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.9 Controles del proceso

#### 3.4.9.1 Parámetros de monitoreo y control

A continuación, se listan los parámetros de control más relevantes de la instalación:

- Temperatura de la digestión: 35 °C +/- 2 °C.
- Contenido de ácidos volátiles de los lodos digeridos, en valor medio de 150 mg/l a 300 mg/l CH<sub>3</sub>COOH.
- TAC Valores medios: 3.000 mg/l a 4.000 mg/l de CaCO<sub>3</sub>.
- pH: 6,9 – 7,5.
- Contenido de NH<sub>4</sub> en los lodos: se considera a menudo que el máximo es de 1,5 g/l.
- Contenido de materias secas (MS) y materias volátiles (MV) de los lodos frescos y digeridos.
- Caudal de lodos frescos: permite conocer la carga del digestor y tiempo de permanencia.

### 3.4.9.2 Niveles de amoníaco

Este parámetro es importante cuando se utilizan materiales que contienen un alto porcentaje de nitrógeno, como es el caso de los estiércoles de aves. Para el control del amoníaco dentro del reactor se recomienda mezclar el sustrato con otras biomásas con mayores relaciones C/N, con el fin de mantener el nivel de amoníaco por debajo de los 2.000 mg/l.

### 3.4.9.3 Potencial de hidrógeno, pH

El pH es función de la concentración de CO<sub>2</sub> en el gas, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad del sustrato. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH. Por tanto, se busca que el lodo del reactor cuente con un pH entre 6,5 y 7,5, ya que valores menores retardan la acidificación y valores mayores retardan la amonización.

### 3.4.9.4 Carga del digestor

Carga del digestor (Ld): Entrada de sólidos totales o volátiles por volumen de digestor  

$$Ld = ST \text{ o } SV \text{ a la entrada/m}^3 \text{ del digestor} = (\text{Kg ST (SV)/día} * \text{m}^3 \text{ de digestor}).$$

**Fotografía 10** Motor recíprocante típico de producción de energía a partir de biogás



**Fuente:** RESSEGAS y TOPAGRONLINE<sup>191</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.4.9.5 Monitoreo y Control SCADA

Las plantas medianas y grandes incluyen un sistema de monitoreo y control del proceso, cuya arquitectura generalmente es la siguiente:

<sup>191</sup> En: Top agronline. [en línea]. [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <www.topagrar.com>

- Nivel 1. Instrumentación y equipo en campo

Representa los elementos primarios de medición y sus transmisores que se encuentran montados tanto en los equipos de proceso como en tuberías. Los elementos finales de control, como son las válvulas de control, variadores de velocidad, bombas, entre otros, pueden estar montados en campo o en la caseta de operación y control (por ejemplo, en el Centro de Control de Motores o bien en un tablero dedicado de algún equipo mayor).

- Nivel 2. Control Lógico Programable (PLC)

Dentro del Nivel 2 se cuenta con el Control Lógico Programable (PLC), el cual consiste de una unidad de procesamiento, unidad de entradas y salidas, fuente de energía, además de una unidad de programación y respaldo de datos.

- Nivel 3. Computadora y monitor (Interfaz hombre-máquina, HMI, SCADA)

El Nivel 3 representa el vínculo operador-proceso, el cual es el medio principal de operación y de conducción a los comandos del operador para el control del proceso. La interfaz hombre-máquina (HMI) es un sistema basado en la comunicación entre el sistema de visualización (SCADA) por computadora y el PLC. Este es el principal medio por el cual el operador inspecciona los parámetros de la planta, por lo que se puede intuir lo que ocurre en la planta. Las instrucciones a ejecutar por parte del PLC son insertadas en su memoria a través de un dispositivo manual, el que en este caso será un teclado de computadora.

### 3.4.10 Área de la planta de aprovechamiento de biogás

De acuerdo con los diferentes procesos de manejo de la biomasa, se ha hecho un estimativo del área que ocuparía la planta, del que se evidencia un valor de 1,3 ha a 6,0 ha según el Escenario de Análisis (tabla 48).

**Tabla 48** Cálculo de áreas - Planta de biogás

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550	2.000	3.500	
1	Caseta y área de pesaje	m <sup>2</sup>	40	44	48	Incluye portería y caseta
2	Vía de acceso entrada (Ancho 8 m de doble carril, con berma)	m <sup>2</sup>	200	250	300	
3	Plataforma de descarga y patio de maniobras RSOU	m <sup>2</sup>	180	180	180	
4	Plataforma de descarga y patio de maniobras otros residuos	m <sup>2</sup>	0	270	405	
5	Foso de descargue VERDES	m <sup>2</sup>	0	1.256	2.542	

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor			Observación
			550	2.000	3.500	
6	Área de bodega para pretratamiento de RSOU					
6,1	Foso de descargue	m <sup>2</sup>	523	523	523	
6,2	Rompedora de bolsas	m <sup>2</sup>	50	50	50	Incluye área para rechazos
6,3	Separador magnético	m <sup>2</sup>	62	62	62	Incluye área de manejo de residuos
6,4	Banda horizontal para clasificación	m <sup>2</sup>	70,2	70,2	70,2	Incluye área de operación de personal y vagones
6,5	Picadora de orgánicos	m <sup>2</sup>	69	69	69	
6,6	Almacén de fardos	m <sup>2</sup>	104	104	104	
6,7	Áreas de circulación bodega	m <sup>2</sup>	220	220	220	
7	Tanques de homogenización	m <sup>2</sup>	713	3.003	5.346	
8	Tanques de fermentación	m <sup>2</sup>	2.773	13.000	21.667	
9	Tratamiento de biogás	m <sup>2</sup>	50	50	50	
10	Generación eléctrica	m <sup>2</sup>	25	25	25	
11	Área administrativa y de servicios	m <sup>2</sup>	50	55	60,5	
12	Área para parqueo de particulares	m <sup>2</sup>	60	70	80	
13	Área para parqueo de vehículos recolectores para VERDES	m <sup>3</sup>	0	288	576	
14	Bodega de materiales e insumos	m <sup>2</sup>	60	66	73	
15	Vías de circulación internas y maniobras	m <sup>2</sup>	800	880	968	
16	Áreas de vestieros y servicios empleados	m <sup>2</sup>	43	47	52	
17	Área ronda de aislamiento (Ancho = 20 m)	m <sup>2</sup>	6.244	11.477	14.636	
18	Área zonas verdes (5 %)	m <sup>2</sup>	617	1603	2.405	
	<b>Área total requerida</b>	m <sup>2</sup>	12.953	33.662	50.512	
		ha	<b>1,30</b>	<b>3,40</b>	<b>5,10</b>	

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.5 Análisis económico y financiero

#### 3.5.1 Metodología

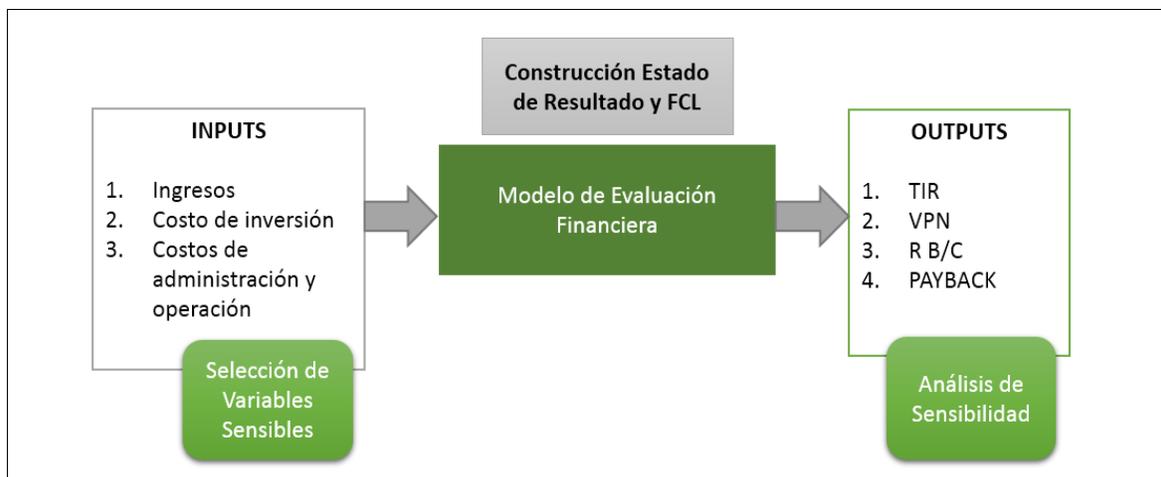
El objetivo de la evaluación financiera es determinar los niveles de rentabilidad del proyecto y la estructura óptima de financiamiento. Para esto, se elaboró un modelo generalizado que considera variables de entrada (*inputs*), principalmente ingresos y costos. El modelo permite realizar una proyección de los flujos del proyecto a 20 años, período considerado como la vida útil promedio de la planta de generación de Biogás.

Al ingresar la información anterior (*Inputs*), se obtiene automáticamente, el Estado de resultados y el FCL. La evaluación se realiza sobre el FCL, y la construcción del Estado de resultados tiene como principal finalidad, el cálculo del impuesto de renta. A partir del FCL, el modelo calcula las variables de evaluación financiera (*Outputs*) que permitirán examinar la factibilidad del proyecto. Se analizarán tres escenarios del proyecto correspondientes a:

- Escenario 1 (E1). Tratar solo RSOU (orgánicos + podas) de biomasa, considerando que este tipo de biomasa ya están disponibles, cuentan con un sistema de recolección y transporte ya en funcionamiento y corresponde al servicio público de aseo. En este caso el tamaño del proyecto sería de 550 t/día.
- Escenario 2 (E2). Tratar los RSOU + 5 % demás biomasa. Este escenario se plantea dejando como base el tratamiento de los RSOU y considerando que a la planta podrían llegar el 5 % de los demás tipos de biomasa con potencial para tratamiento Biológico. El tamaño de la planta para este escenario sería de 2.000 t/día.
- Escenario 3 (E3). Tratar los RSOU + 10 % demás biomasa. Este escenario se plantea dejando como base el tratamiento de los RSOU y considerando que a la planta podrían llegar el 10 % de los demás tipos de biomasa con potencial para tratamiento. Para este escenario el tamaño de la planta sería de 3.500 t/día.

La metodología descrita anteriormente se resume gráficamente a continuación (figura 25):

**Figura 25** Metodología modelo de evaluación financiera



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Las variables de entrada son las siguientes (*inputs*):

- **Los ingresos generados por el proyecto corresponden a:**
  - Venta de energía eléctrica
  - Ingresos por tarifa de disposición final
  - Ingresos por venta de bonos de carbono
  - Venta de los subproductos comercializables
  - Venta de mejorador de suelos (Digestato)
- **Los costos de inversión que corresponden a:**
  - Estudios y diseños

- Predios
- Obras civiles
- Obras generales
- Edificaciones
- Equipos de Planta tratamiento de residuos
- Obras para valoración energética
- Reposición de equipos
- **Los costos de operación y mantenimiento son:**
  - Costos generales
  - Personal
  - Valoración energética
  - Varios
- **Los costos de administración que corresponden a:**
  - Gerenciamiento y administración de obras e inversiones
  - Seguros
  - Costos financieros
- **Los impuestos:**
  - Impuesto de Renta. Para este ítem se considera el incentivo para los primeros 5 años dado a este tipo de proyectos.

Los variables de evaluación financiera (*Outputs*) a analizar son:

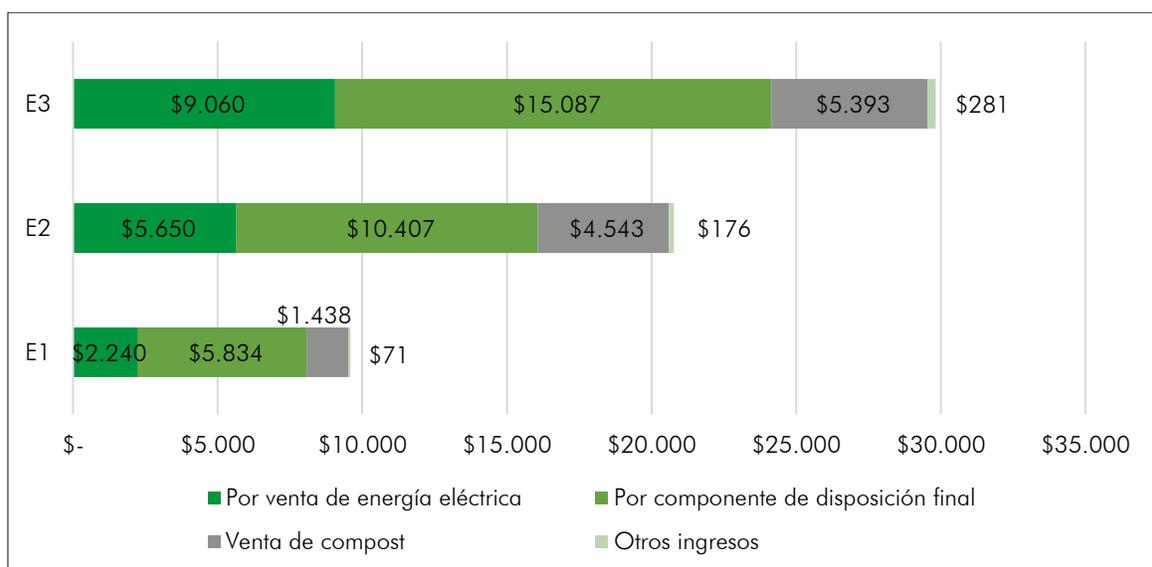
- TIR: es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. El criterio de selección dependerá de la tasa de descuento o de oportunidad del proyecto ( $k$ ). Si la TIR es mayor a  $k$ , el proyecto es favorable.
- Valor presente: es el valor de los flujos futuros del proyecto traídos al presente teniendo en cuenta una tasa de oportunidad. Si el valor presente neto es mayor a cero, indica que el proyecto es favorable.
- *Payback*: indica el plazo de recuperación de la inversión inicial.
- Relación Beneficio/Costo: indicador que mide el cociente entre los ingresos y los pagos traídos a valor presente. Los criterios de decisión son:
  - $> 1$  El proyecto se debe considerar
  - $< 1$  El proyecto no se debe considerar
  - $= 1$  Es indiferente realizar el proyecto

### 3.5.2 Resultados económicos

#### 3.5.2.1 Ingresos

- Los ingresos para el escenario 1 suman COP 9.583 millones, de los cuales el 60,9 % corresponde a COP 5.834 millones, que pertenecen al ingreso proveniente de la tarifa de disposición final; el 23,4 %, correspondiente a COP 2.240 millones, pertenece a la venta de energía eléctrica; el 15 %, correspondiente a COP 1.438 millones, pertenece al ingreso por venta de Digestato, y el restante 0,7 % (COP 71 millones) corresponde a otros ingresos.
- Los ingresos para el escenario 2 suman COP 20.776 millones, de los cuales el 50,1 % corresponde a COP 10.407 millones, que pertenecen al ingreso proveniente de la tarifa de disposición final<sup>192</sup>; el 27,2 %, correspondiente a COP 5.650 millones, pertenece a la venta de energía eléctrica; el 21,9 %, correspondiente a COP 4.543 millones, pertenece al ingreso por venta de Digestato, y el restante 0,8 % (COP 176 millones) corresponde a otros ingresos.
- Los ingresos para el escenario 3 suman COP 29.821 millones, de los cuales el 50,6 % corresponde a COP 15.087 millones, que pertenecen al ingreso proveniente de la tarifa de disposición final<sup>193</sup>; el 30,4 %, correspondiente a COP 9.060 millones, pertenece a la venta de energía eléctrica; el 18,1 %, correspondiente a COP 5.393 millones, pertenece al ingreso por venta de Digestato, y el restante 0,9 % (COP 281 millones) corresponde a otros ingresos.

**Gráfico 25** Ingresos anuales alternativos del proyecto de Montería – Millones de pesos de 2018



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>192</sup> Incluye ingresos por servicio de tratamiento de otras biomásas.

<sup>193</sup> Incluye ingresos por servicio de tratamiento de otras biomásas.

### 3.5.2.1 Costos

Los costos de inversión inicial suman COP 21.780 millones para el escenario 1, COP 49.825 millones para el escenario 2 y COP 76.751 millones para el escenario 3. Adicionalmente, se contempla un costo de reposición de la inversión inicial equivalentes a COP 1.721 millones para el escenario 1, COP 16.630 millones para el escenario 2 y COP 22.742 millones para el escenario 3.

Los costos de operación y mantenimiento suman anualmente COP 7.167 millones para el escenario 1, COP 15.099 millones para el escenario 2 y COP 22.742 millones para el escenario 3 y los costos de administración suman anualmente COP 471 millones para el escenario 1, COP 1.034 millones para el escenario 2 y COP 1.56 millones para el escenario 3.

**Tabla 49** Resumen de costos de inversión y operación alternativas proyecto Montería – millones de pesos de 2018

Concepto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Inversión inicial (total)	21.780	49.825	76.751
Inversión reposición (total)	1.721	16.630	31.147
Costos de Operación y mantenimiento (anual)	7.167	15.099	22.742
Costos Administrativos (anual)	471	1.034	1.569

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.5.3 Indicadores financieros

**Gráfico 26** Flujo de caja libre escenarios proyecto Montería – millones de pesos de 2018



Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En el gráfico 26 se observa el FCL para los tres escenarios de análisis. Se observa que después de la inversión inicial, es decir, desde el año 1, los flujos de caja libre son positivos, exceptuando en los años 7 y 14 para los escenarios 2 y 3, debido a los altos costos de reposición de la inversión inicial.

A continuación, se presenta el resumen de los indicadores de evaluación financiera para los tres escenarios analizados:

**Tabla 50** Indicadores financieros de las tres alternativas (\*)

Concepto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
TIR	4,1 %	3,24 %	-0,13 %
VPN (\$)	-7.799	-20.238	-43.916
R/BC	0,9	0,90	0,85
Payback	14	16	

(\*) Tasa de descuento utilizada 11,8 %.

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

De acuerdo con el indicador de TIR, el escenario más rentable, es el escenario 1 - Solo RSOU, con un tamaño de 550 t/d (19 municipios) y una TIR del 4,1 %, seguido por el escenario 2 con una TIR del 3,24 % y el escenario 3 tiene una TIR negativa del 0,13 %. Como bien se definió anteriormente, el criterio de decisión para la TIR dependerá de la tasa de descuento o de oportunidad del proyecto (k). Si la TIR es mayor a k, el proyecto es favorable. Si la TIR, por ejemplo, es demasiado baja, no será favorable para inversionistas privados, dado que preferirán invertir sus recursos en otros sectores o inversiones (costo de oportunidad).

Mediante la Resolución CREG 095 del 2015 se aprobó la metodología para el cálculo de la tasa de descuento que se aplicará para la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional. Y, mediante el documento CREG 011 del 29 de enero del 2018, se estima la tasa de retorno para la actividad de distribución de energía eléctrica de acuerdo con dicha metodología; así, la tasa de retorno estimada por la CREG para 2019 es de 11,8 %.

La tasa del 11,8 % se utilizará para comparar la TIR obtenida para los tres escenarios, por lo que se concluye que, para ninguno de los tres escenarios analizados, la rentabilidad esperada es atractiva para los inversionistas. Adicionalmente, para el escenario 1, el *payback*, es decir, el periodo de recuperación de la inversión inicial es hasta el año 14, para el escenario 2 es hasta el año 17 y para el escenario 3, los flujos no logran recuperar la inversión en el periodo contemplado de 20 años.

De acuerdo con la tasa de descuento utilizada (11,8 %) el valor presente neto para los tres escenarios es negativo y la relación costo-beneficio es menor a 1. Teniendo en cuenta lo anterior

y los criterios de decisión descritos en la metodología, los tres escenarios son inviables financieramente. No obstante, en la sección siguiente se analizarán las fuentes de recursos y las alternativas de financiación que permitan que el proyecto sea viable financieramente y atractivo para los inversionistas.

### 3.5.4 Fuentes de recursos y alternativas de financiación

De acuerdo con el análisis de las secciones anteriores, las oportunidades de financiamiento del proyecto son:

1. Inversión privada
2. Inversión pública-privada
3. Banca Multilateral
4. Findeter
5. Sector publico

No obstante, de acuerdo con los resultados de la rentabilidad (dada por el indicador TIR y el VPN), se origina la necesidad de plantear una estrategia de financiación que involucre recursos públicos o no reembolsables. De los escenarios analizados, la TIR más alta es de 4,1 %, tasa de rentabilidad que no es lo suficientemente atractiva, comparada con una tasa del 11,8 %, correspondiente a la tasa de retorno calculada por la CREG para 2019. Según lo anterior, se plantean escenarios en los cuales se consiga financiar parte de la inversión inicial mediante recursos públicos o no reembolsables.

**Figura 26** Escenario de rentabilidad (TIR) con financiamiento de la inversión inicial a través de recursos públicos o no reembolsables

0%	4,1%	3,2%	-0,1%
5%	4,8%	3,9%	0,4%
10%	5,5%	4,6%	1,1%
20%	7,2%	6,1%	2,4%
30%	9,1%	8,0%	4,1%
40%	11,7%	10,5%	6,2%
50%	15,0%	13,7%	8,9%
60%	19,8%	18,5%	12,8%
70%	27,6%	26,4%	19,0%
80%	42,9%	42,3%	31,8%

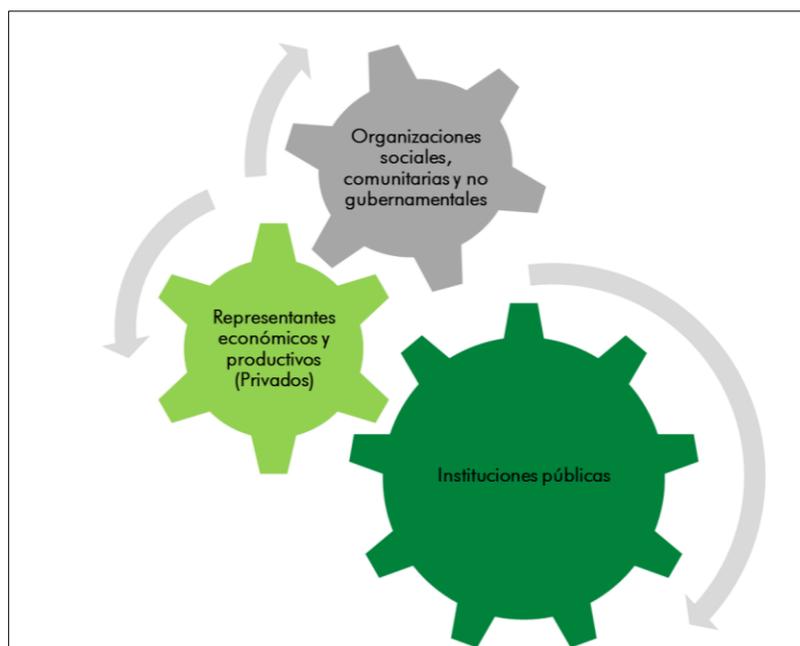
Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se observa en la figura 26, el escenario 1 obtiene una rentabilidad mayor al 11,8 % con al menos el 41 % (COP 8.929 millones) de financiamiento de la inversión inicial a través de recursos no reembolsables. El escenario 2 obtiene una rentabilidad mayor al 11,8 % con una financiación de la inversión inicial por encima del 45 % (COP 22.421 millones) y el escenario 3 obtiene una rentabilidad mayor al 11,8 % con una financiación a través de recursos no reembolsables de al menos el 58 % (COP 44.515 millones). Teniendo en cuenta los resultados financieros y los esquemas de financiación planteados, se concluye que el escenario más viable financieramente es el escenario 1, y para que el proyecto sea favorable para los inversionistas, es decir, que para que la tasa de retorno sea mayor al 11,8 % (11,95 %) se necesitarán recursos no reembolsables por un valor de COP 8.929 millones, correspondientes al 41 % del total de la inversión inicial.

### 3.6 Mapa de actores públicos - privados – cooperación

En la figura 27, se identifica los actores (locales, departamentales, nacionales o internacionales que forman parte de los diferentes sectores de la sociedad) y que pueden tener relaciones entre sí. El mapa de actores que se desarrolla en este capítulo permite establecer posibles alianzas entre los grupos de actores. Estas alianzas pueden estar articuladas por organizaciones sociales, comunales, comunitarias y no gubernamentales, entidades públicas o privadas (entidades económicas y productivas). También existen unos actores clave que son los que están involucrados directamente y pueden influir sobre el desarrollo del mismo.

**Figura 27** Actores públicos - privados - cooperación



**Fuente:** INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Para la formulación de los actores de interés, es importante identificar con claridad las competencias de cada uno y, sobre todo, tener claridad sobre su papel dentro del sistema y frente a las acciones que emprende para el municipio. Por lo tanto, las autoridades competentes deberán facilitar la articulación entre los distintos niveles de acción que comprende el proyecto. En este sentido, esta identificación ayuda a lograr acuerdos sobre los temas por tratar; definir las reglas claras y compartidas sobre el papel y la responsabilidad de los actores, y ejecutar, realizar seguimiento y evaluar las acciones que se definan como necesarias para el cumplimiento de los objetivos y propósitos del proyecto<sup>194</sup>.

### 3.6.1 Identificación de actores públicos

#### 3.6.1.1 Nivel central

##### A Ministerio de Minas y Energía

La estructura y el marco legal de competencias de este ministerio se desarrolla en el Decreto 0381 de 2012, incorporado a partir del artículo 1.1.1.1 del Decreto 1073 de 2015, Único Reglamentario del Sector. En virtud de estas normas, el ministerio, formula y adopta políticas dirigidas al aprovechamiento sostenible de los recursos mineros y energéticos para contribuir al desarrollo económico y social del país, en concordancia con los planes nacionales de desarrollo y con la política del Gobierno nacional.

En su estructura y como parte del despacho ministerial, el ministerio cuenta con una oficina de asuntos ambientales y sociales, que, entre otras funciones, coordina la interrelación del sector minero-energético con las autoridades ambientales, con el Ministerio del Interior, con las autoridades territoriales, con las comunidades y con los responsables de la gestión del riesgo y participar en la formulación de políticas ambientales y de gestión de riesgo<sup>195</sup>. En materia de regalías, el ministerio tiene las competencias y responsabilidades que le asigna el artículo 7° de la Ley 1530 de 2012, además de hacer parte de la Comisión Rectora del Sistema Nacional de Regalías.

##### B Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

Esta entidad está concebida como una Unidad Administrativa Especial del orden nacional, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, cuya estructura y marco de competencias fueron

<sup>194</sup> PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Mapa de actores y escenarios para la revisión y actualización de la política de la biodiversidad en Colombia [en línea]. Bogotá, 2009 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/actualizacion-politica-nacional-de-biodiversidad/5072\\_150310\\_anexo\\_2\\_mapa\\_actores.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/actualizacion-politica-nacional-de-biodiversidad/5072_150310_anexo_2_mapa_actores.pdf)>

<sup>195</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Misión y visión [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.minminas.gov.co/mision-y-vision>>

definidos por el Decreto 1258 de 2013 e, igualmente, incorporado al Decreto 1073 de 2015, Único Reglamentario del Sector, con la misión de planear de manera integral el desarrollo minero energético, apoyar la formulación de política pública y coordinar la información sectorial con los agentes y partes interesadas. Su objeto es planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético; desarrollar y aprovechar los recursos mineros y energéticos; producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones, y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en el logro de sus objetivos y metas.

En el marco de lo anterior, esta unidad cumple con la función de elaborar y actualizar los planes nacionales de Desarrollo Minero, Energético Nacional, Expansión de los Sectores Eléctrico, Cobertura de zonas interconectadas y no interconectadas, y de los demás planes subsectoriales, en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo. Entre una de sus funciones, la UPME, también apoya al MME y otras entidades en la realización de las convocatorias del STN, evaluación de proyectos de cobertura, emisión de conceptos para otorgar incentivos, cálculo de precios base para liquidación de regalías, entre otros<sup>196</sup>.

### **C Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH**

La ANH es la autoridad encargada de promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos hidrocarburíferos del país, administrándolos integralmente y armonizando los intereses de la sociedad, el Estado y las empresas del sector. Entre las funciones, que se derivan de su condición de administradora de los recursos hidrocarburíferos de la Nación, se encuentra la de apoyar al Ministerio de Minas y Energía y demás autoridades competentes en los asuntos relacionados con las comunidades, el ambiente y la seguridad en las áreas de influencia de los proyectos de este subsector<sup>197</sup>.

### **D Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG)**

En virtud de lo dispuesto en las Leyes 142 y 143 de 1994, esta comisión cumple las funciones que la Constitución Política le asigna al Presidente de la República en relación con el señalamiento de las políticas generales de administración y control de eficiencia del Servicio Público Domiciliario de Energía. Es la encargada de reglamentar, a través de normas jurídicas, el comportamiento de los usuarios y las empresas con el objetivo de asegurar la prestación de

---

<sup>196</sup> UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Entorno Institucional [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/QuienesSomos.aspx>>

<sup>197</sup> AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Misión y visión [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.anh.gov.co/la-anh/Paginas/Mision-y-Vision.aspx>>

estos servicios públicos en condiciones de eficiencia económica con una adecuada cobertura y calidad del servicio<sup>198</sup>.

#### **E Instituto de planificación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas (IPSE)**

Este instituto elabora conjuntamente con el Ministerio de Minas y Energía y los entes territoriales, los planes, programas y proyectos de la infraestructura energética para las zonas no interconectadas, con principios de conservación ambiental y tendientes a incentivar los procesos productivos y a elevar la calidad de vida de las poblaciones de su jurisdicción, de manera tecnológica, económica, ambiental y socialmente sostenible. Uno de sus objetivos es propender por el uso de fuentes no convencionales de energía como solución energética sobre criterios de gestión eficiente de la energía<sup>199</sup>.

#### **F Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible**

Esta cartera creada con la Ley 99 de 1993 es la responsable de formular la política nacional en relación con el ambiente y los recursos naturales renovables. Esta establece los criterios ambientales que deben ser incorporados en la formulación de las políticas sectoriales y en los procesos de planificación de los demás ministerios y entidades, previa consulta con esos organismos. También es responsabilidad de este Ministerio administrar las áreas protegidas del orden nacional.

Asimismo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible tiene como obligación dirigir el SINA, organizado de conformidad con la Ley 99 de 1993, para asegurar la adopción y ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos respectivos. Con ellos, se busca garantizar el cumplimiento de los deberes y derechos del Estado y de los particulares en relación con el ambiente y el patrimonio natural de la Nación<sup>200</sup>.

#### **G Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)**

Esta autoridad asume con el Decreto 3573 de 2012 las competencias que anteriormente estaban en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en materia de licenciamiento y otorgamiento de permisos ambientales. Ella se encarga de la evaluación de los estudios

<sup>198</sup> COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Estructura del sector [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/estructura-energia>>

<sup>199</sup> INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS. Objetivo y funciones [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.ipse.gov.co/ipse/objetivos-y-funciones>>

<sup>200</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Objetivos y funciones [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>>

ambientales, incluyendo la evaluación económica de los impactos positivos y negativos de los proyectos y ejecuta el seguimiento a las obras o actividades que requieran de Licencia Ambiental o de instrumentos tales como los planes o medidas de manejo.

La ANLA es competente para buena parte de los proyectos del sector energético que se someten al requisito de la licencia ambiental. Igualmente, dentro de sus competencias está la de hacer seguimiento a los mismos en todo cuanto se relaciona con el cumplimiento de las obligaciones de orden ambiental y social en todas sus fases: construcción, montaje, operación, mantenimiento, desmantelamiento, restauración final, abandono y/o terminación<sup>201</sup>.

## H Corporaciones Autónomas Regionales (CAR)

Estas corporaciones están concebidas en la Ley 99 de 1993 como las máximas autoridades ambientales en el área de su jurisdicción, encargadas de ejecutar las políticas ambientales en el ámbito regional; la promoción de la planificación y el ordenamiento ambiental, territorial y sectorial, y la administración de los recursos naturales renovables y el ambiente. Además, es responsable de los procesos de ordenamiento de las cuencas hidrográficas que generan determinantes para los procesos de ordenamiento territorial, la administración de las áreas protegidas del orden regional y la resolución de solicitudes de sustracción que se presenten en relación con esas mismas reservas<sup>202</sup>.

## I Ministerio del Interior

Ejerce la rectoría y la coordinación de las políticas públicas para el fortalecimiento de la democracia, la convivencia y la participación ciudadana; el disfrute de los derechos y libertades públicas, y el ejercicio pleno del Estado Social de Derecho. Asimismo, se encarga de liderar la articulación de políticas orientadas al fortalecimiento de la descentralización y de ser interlocutor de los asuntos del Interior en lo atinente a las relaciones políticas dentro de la Nación, con el Congreso de la República, con las entidades territoriales y con los diferentes actores sociales, en lo que respecta al afianzamiento del Estado Social de Derecho en condiciones de respeto a los valores democráticos, la preservación del orden público interno y la solidaridad<sup>203</sup>.

<sup>201</sup> AGENCIA NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Institucional [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.anla.gov.co/Institucional>>

<sup>202</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá: El Congreso, 1993. Título VI: De Las Corporaciones Autónomas Regionales [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>>

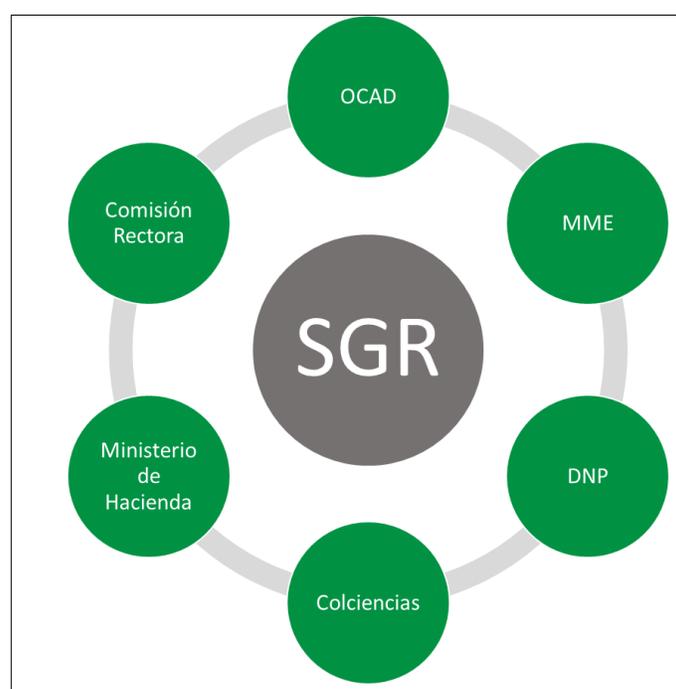
<sup>203</sup> MINISTERIO DEL INTERIOR. Misión y visión [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://www.mininterior.gov.co/el-ministerio/informacion-institucional/mision-y-vision>>

Esta cartera formula y hace seguimiento a la política de los grupos étnicos para la materialización de sus derechos, con un enfoque integral, diferencial y social, en coordinación con las demás entidades competentes del Estado. También certifica la presencia de grupos étnicos en las áreas de influencia de los proyectos, como base para determinar la exigibilidad de adelantar procesos de consulta previa, que lidera a través de su Dirección de Consulta Previa.

## J Sistema General de Regalías (SGR)

El componente institucional de las regalías se organiza a través del Sistema General de Regalías (SGR) que establece la Constitución Política, cuya conformación se ha asignado por varios órganos:

**Figura 28** Conformación del SGR



**Fuente:** SGR<sup>204</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se presenta en la figura 28, el SGR cuenta con una Comisión Rectora, establecida en la Ley 1530 de 2012 como el órgano encargado de definir la política general de este sistema, evaluar su ejecución general y dictar mediante acuerdos, las regulaciones de carácter administrativo orientadas a asegurar el adecuado funcionamiento del Sistema. En esta comisión

<sup>204</sup> SISTEMA GENERAL DE REGALÍAS. Órganos Colegiados de Administración y Decisión - OCAD [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.sgr.gov.co/Qui%C3%A9nesSomos/%C3%93rganosdelSGR/%C3%93rganosColegiadosdeAdministraci%C3%B3nyDecisi%C3%B3n.aspx>>

tienen representación los gobiernos nacional, departamental y municipal y el Departamento Nacional de Planeación, este último la preside y ejerce su secretaría técnica.

El SGR cuenta también con unos OCAD, que son los responsables de definir los proyectos de inversión sometidos a su consideración que se financiarán con recursos del SGR, así como de evaluar, viabilizar, aprobar y priorizar la conveniencia y oportunidad de financiarlos y, finalmente, de designar su ejecutor. Existen OCAD en los ámbitos regional, departamental y municipal, según se procederá a analizar.

Para la distribución de los recursos del sistema a los departamentos se establecen el FCTI, FDR y FCR. Adicionalmente, se ahorrará a través del FAE y Fonpet. Todos los recursos del SGR financiarán proyectos de inversión presentados por las entidades territoriales a los OCAD. A través del SMSCE, que administra el DNP, se realiza la interventoría selectiva y preventiva de los proyectos financiados<sup>205</sup>.

## K Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

Organismo de carácter técnico, creado por la Constitución de 1991, adscrito al Ministerio de Desarrollo Económico, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonial, que contribuye al mejoramiento, mediante la vigilancia, inspección y control a la prestación de los servicios públicos domiciliarios, la protección de los derechos y la promoción de los deberes de los usuarios y prestadores<sup>206</sup>.

### 3.6.1.2 Nivel departamental

Los departamentos atienden al régimen establecido en la Constitución Política, en virtud del cual tienen autonomía para la administración de los asuntos seccionales y la planificación y promoción del desarrollo económico y social dentro de su territorio. Ejercen funciones administrativas, de coordinación, de complementariedad de la acción municipal, de intermediación entre la Nación y los Municipios, y de prestación de los servicios que determinen la Constitución y las leyes.

<sup>205</sup> MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Sistema General de Regalías [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <[http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/faces/portales/SGR;jsessionid=hn0XdK5Cnfd3Ncu5sSUpC5hndj1GVZtrW7EoD4\\_tuBI85WmBe0H!1060612563?\\_afLoop=124205321503400&\\_afWindowMode=0&\\_afWindowId=null#!%40%40%3F\\_afWindowId%3Dnull%26\\_afLoop%3D124205321503400%26\\_afWindowMode%3D0%26\\_adf.ctrl-state%3Dgbsóm8ut\\_4](http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/faces/portales/SGR;jsessionid=hn0XdK5Cnfd3Ncu5sSUpC5hndj1GVZtrW7EoD4_tuBI85WmBe0H!1060612563?_afLoop=124205321503400&_afWindowMode=0&_afWindowId=null#!%40%40%3F_afWindowId%3Dnull%26_afLoop%3D124205321503400%26_afWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Dgbsóm8ut_4)>

<sup>206</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 142 (11, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá: El Congreso, 1994 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0142\\_1994.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html)>

En materia de ordenamiento territorial, los departamentos cumplen con las funciones que se derivan de lo dispuesto en el numeral segundo del artículo 29 de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, 1454 de 2011. Igualmente, promueven y ejecutan, en cumplimiento de los respectivos planes y programas nacionales y departamentales, las actividades económicas que interesen a su desarrollo y al bienestar de sus habitantes.

El gobernador atiende al cumplimiento de las responsabilidades que la Constitución Política le asigna como jefe administración seccional y representante legal del departamento, y es agente del Presidente de la República para el mantenimiento del orden público y para la ejecución de la política económica general, así como para aquellos asuntos que mediante convenios la Nación acuerde con el departamento. La Ley 1757 de 2015<sup>207</sup> los faculta para convocar consultas para que el pueblo decida sobre asuntos departamentales, lo mismo que 10 % de los ciudadanos que conforma el censo electoral del respectivo departamento.

## **A Departamento de Córdoba**

El departamento está conformado por 30 municipios, que de acuerdo con la proyección del DANE 2018, cuenta con una población de 1.788.507 habitantes, en donde la población en zonas urbanas representa el 53,1% de la población del departamento, mientras que la población rural representa el 46,9%. Este departamento contribuye en un 1,79% de la composición del PIB nacional<sup>208</sup>. Además, cuenta con representación en el Congreso de la República de nueve senadores provenientes de este departamento y cinco representantes a la Cámara por jurisdicción departamental, 3 pertenecientes al partido de la U, 1 al partido liberal y 1 al partido conservador.

## **I Gobernación de Córdoba**

La Gobernación de Córdoba tiene como objeto concentrar sus esfuerzos en programas y proyectos de mayor impacto social y ambiental que permitan orientar con justicia los recursos de la salud, educación, vías, agua, saneamiento básico, cultura, deporte, recreación, fortalecimiento de la familia, los grupos poblacionales más vulnerables, niños, jóvenes, adolescentes y mayores estímulos para los sectores productivos, con el ánimo de llegar a los grupos más desprotegidos y marginados de la población y mejorar así la calidad de vida de las familias cordobesas.

En las pasadas elecciones fue elegido como Gobernador Edwin José Besalie, de una coalición del partido de la U y otros partidos políticos, con una votación correspondiente al 49,56 % de los 697,534 votos válidos. Le siguió el candidato de Cambio Radical con un 43,545 de tales votos.

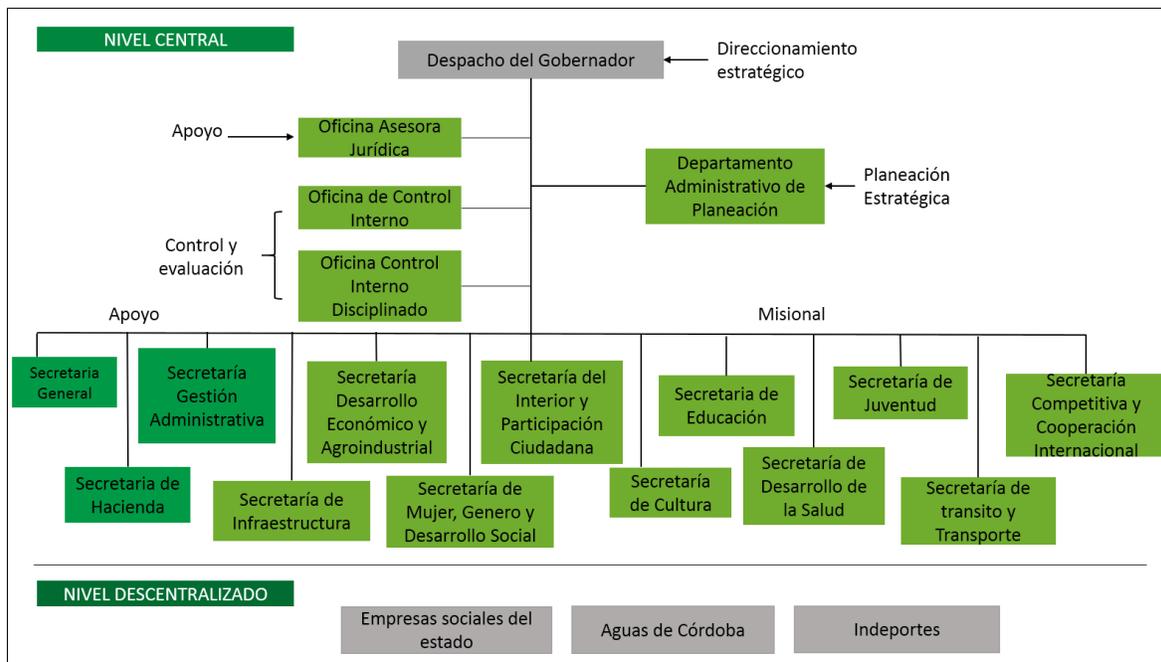
---

<sup>207</sup> COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1757(6, julio,2015). Por el cual se dictan disposiciones en materia de promoción y protección del desarrollo a la participación democrática. Diario Oficial. Bogotá, D.C.,2015. no. 49565.

<sup>208</sup> DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICA. Economía y población Córdoba. [en línea]. 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: < <https://terridata.dnp.gov.co/#/perfiles> >

En la siguiente figura se representa el organigrama de la Gobernación de Córdoba:

**Figura 29** Organigrama de la Gobernación de Córdoba



**Fuente:** Gobernación de Córdoba<sup>209</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

El Gobernador participa también en el OCAD de Regalías de la región Caribe y en los Consejos Directivos de la respectiva corporación autónoma regional.

## II Asamblea Departamental

Las asambleas departamentales cumplen con las funciones que le asigna la Constitución Política, entre las que se incluyen las relacionadas con la adopción, de acuerdo con la Ley, los planes y programas de desarrollo económico y social y los de obras públicas con las determinaciones de las inversiones y medidas que se consideren necesarias para impulsar su ejecución y asegurar su cumplimiento. Específicamente, la Asamblea del departamento de Córdoba busca brindar a la comunidad el marco legal y administrativo que propicie el correcto ejercicio del control político en procura del desarrollo sostenible del departamento con los más elevados intereses de proteger

<sup>209</sup> GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA. Organigrama [en línea]. Córdoba, 2012 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://www.cordoba.gov.co/gobernacion/organigrama>>

y salvaguardar los recursos económicos, sociales, ecológicos y tecnológicos, según los principios rectores de la administración pública<sup>210</sup>.

La Asamblea de Córdoba cuenta con 13 curules. Dentro de ellas, los partidos políticos con mayor participación como resultado de las últimas elecciones son, en su orden, el Partido De La U, Partido Liberal y el Conservador.

### III Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS)

La CVS ejerce como máxima autoridad ambiental y administradora de los recursos naturales renovables en el departamento del Córdoba. Para su gestión, divide su jurisdicción en seis subregiones ambientales, entre las que se encuentra la subregión de Sinú Medio, a la que pertenece el municipio de Montería.

Algunas de sus funciones son apoyar a las entidades territoriales en los estudios necesarios para el conocimiento del riesgo, la integración en los POT, los Planes de Desarrollo, los POMCA y la gestión ambiental del conocimiento del riesgo. Además, propende por la articulación de las acciones de adaptación de Cambio climático y la de gestión del riesgo de desastres en su territorio. Su consejo directivo cuenta con representación del gobierno nacional, de las entidades territoriales, de los grupos étnicos, de las organizaciones no gubernamentales y del sector productivo<sup>211</sup>.

#### 3.6.1.3 Nivel municipal

El municipio está concebido en la Constitución Política como la entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado. Este debe prestar los servicios públicos que determine la ley; construir las obras que demande el progreso local; ordenar el desarrollo de su territorio; promover la participación comunitaria, el mejoramiento social y cultural de sus habitantes, y cumplir las demás funciones que le asignen la Constitución y las leyes.

Cada municipio cuenta con un concejo municipal elegido popularmente, que ejerce las funciones establecidas en la Constitución Política. Entre las tareas que le atañen se incluyen las relacionadas con la adopción de los planes y programas de desarrollo económico y social y de obras públicas; la determinación de la estructura de la administración municipal y las funciones de sus

<sup>210</sup> ASAMBLEA DE CÓRDOBA. Atribuciones legales [en línea]. Córdoba, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://asamblea-cordoba.gov.co/nosotros/>>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y DEL SAN JORGE. Informe de Gestión 2006 [en línea]. 2007 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF\\_GESTION\\_CVS\\_2006.pdf](https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF_GESTION_CVS_2006.pdf)>

<sup>211</sup> CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y DEL SAN JORGE. Informe de Gestión 2006 [en línea]. 2007 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF\\_GESTION\\_CVS\\_2006.pdf](https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF_GESTION_CVS_2006.pdf)>

dependencias; la reglamentación de los usos del suelo; la elección del personero municipal; la expedición de normas necesarias para el control, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural del municipio, y el ejercicio del control político municipal.

El alcalde es elegido popularmente, como jefe de la administración local y representante legal del municipio. Entre las funciones que le asigna la Constitución Política se encuentra las de conservar el orden público, como primera autoridad de policía del municipio, de conformidad con la ley y las instrucciones y órdenes que reciba del Presidente de la República y del respectivo gobernador. Es también responsable de dirigir la acción administrativa del municipio, asegurar el cumplimiento de las funciones y la prestación de los servicios a su cargo, representarlo judicial y extrajudicialmente, y nombrar y remover a los funcionarios bajo su dependencia y a los gerentes o directores de los establecimientos públicos y las empresas industriales o comerciales de carácter local, de acuerdo con las disposiciones pertinentes.

## **A Municipio de Montería**

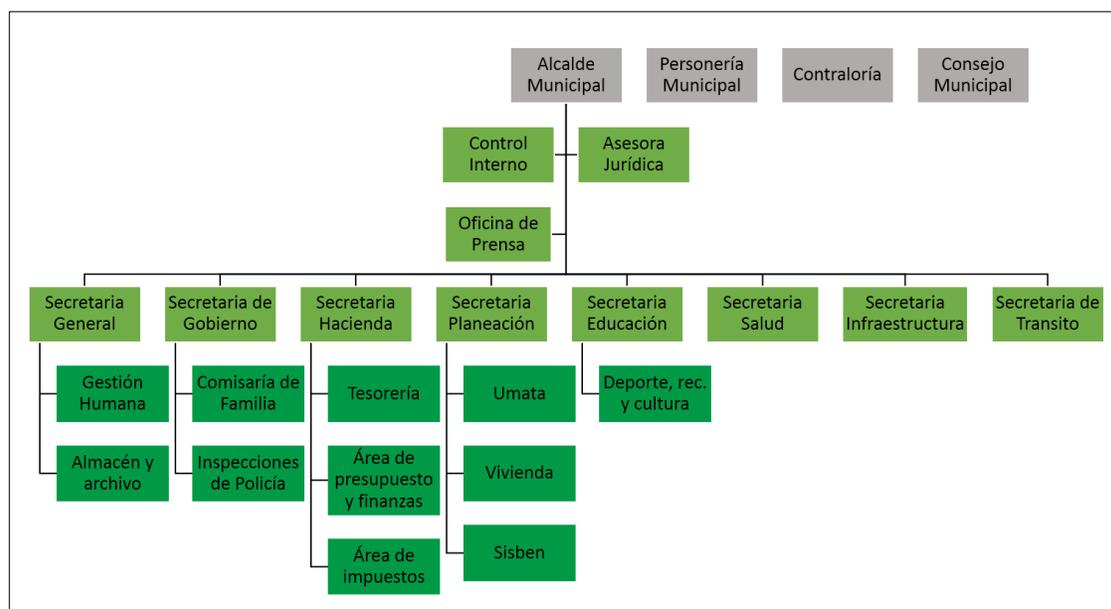
Montería es el centro económico, político, cultural y administrativo de la región cordobesa. Además, el municipio por su infraestructura, biodiversidad, cultura, y por el río Sinú hacen del municipio una urbe a la altura de las grandes ciudades. La localización privilegiada en el centro del extenso y fértil valle del Sinú convierte a Montería en centro agrícola, ganadero, comercial y turístico. De acuerdo con estimaciones del DANE para el 2018, cuenta con una población total de 460.082 habitantes.

### **I Alcaldía municipal**

La misión de la Alcaldía de Montería es gobernar de manera participativa y con enfoque social. La Alcaldía de Montería está en cabeza de Marco Daniel Pineda García, del Partido Montería Adelante, elegido con 83,167 votos, que corresponden al 45,35 % del total de la votación.

La alcaldía de montería tiene la siguiente estructura orgánica:

Figura 30 Organigrama Alcaldía de Montería



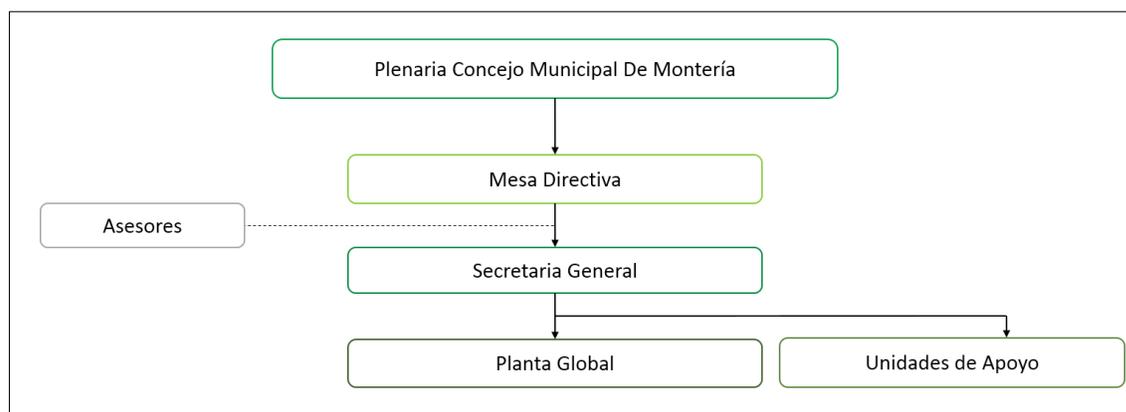
Fuente: Alcaldía de Montería<sup>212</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Como se puede evidenciar en la figura 30, la administración del municipio está en manos de la Alcaldía Municipal, a través de diferentes secretarías. Acompañando a la alcaldía están los órganos de control, vigilancia, defensa y legislación, específicamente, el Consejo Municipal, La Contraloría Municipal y la personería. Finalmente, la visión que tiene la alcaldía, es proyectar a Montería como la ciudad verde de Colombia, visionada como modelo de desarrollo sostenible, planificando integralmente lo urbano con el campo, garantizando el mejoramiento en la calidad de vida a través de una gestión eficiente, transparente y participativa.

## II Concejo Municipal

El Concejo Municipal de San Jerónimo de Montería, como Corporación Administrativa Pública, es el espacio de representación democrática que promueve mediante acuerdos el desarrollo integral y sostenible de la sociedad monteriana; ejerciendo control político-administrativo y asesorando a las comunidades en iniciativas que contribuyan a mejorar su calidad de vida en cumplimiento de los fines esenciales del Estado, a través de su organización administrativa autónoma, eficiente, moderna e integrada por servidores públicos competentes e idóneos.

<sup>212</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Fundamentos Básicos: organigrama. [en línea]. Montería, 2017 [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<http://www.monteria.gov.co/alcaldia/fundamentos/>>

**Figura 31** Estructura organizacional institucional

**Fuente:** Consejo de Montería<sup>213</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

El Concejo Municipal está integrado por 19 curules. Para las últimas elecciones hubo un total de 194,89 sufragantes, que corresponden al 65,03 % del censo electoral, donde la votación se distribuyó de la siguiente forma:

**Tabla 51** Votación Concejo Municipal

Partidos políticos	Votos	Porcentaje de Votación
Partido Conservador colombiano	40,97	23,07
Partido Liberal Colombiano	23,01	12,96
Movimiento Autoridades Indígenas de Colombia	22,73	12,80
Partido de la U	17,99	10,13
Partido Cambio Radical	16,22	9,14
Partido Centro Democrático	13,46	7,58
Partido Opción Ciudadana	13,26	7,47
Partido Centro Democrático Alternativo	8,34	4,70
Partido Alianza Social Independiente	6,92	3,89
Movimiento Mira	3,11	1,75
Partido Alianza Verde	2,87	1,62
Movimiento Alternativo Indígenas y Social «MAIS»	1,75	0,98
Partido Unión Patriota	677	0,38

**Fuente:** Colombia.com<sup>214</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.6.2 Identificación de actores, organizaciones sociales, comunales, comunitarias y no gubernamentales

<sup>213</sup> CONSEJO DE MONTERÍA. Estructura organizacional. [en línea]. 2018. [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<http://www.concejodemonteria.gov.co/estructura-organizacional/>>

<sup>214</sup> COLOMBIA.COM. Elecciones regionales 2015 [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.colombia.com/elecciones/2015/regionales/resultados/alcaldia.aspx?C=AL&D=13&M=1>>

### 3.6.2.1 Dimensión social y cultural

El municipio de Montería cuenta con 460.082 habitantes, según las estimaciones del DANE para el 2018. Asimismo, el municipio está dividido en 27 corregimientos, 168 veredas y 9 UEF y la cabecera municipal, la cual está, a su vez, conformada por nueve (9) comunas y cinco (5) piezas urbanas con un total de 207 barrios. Los 27 corregimientos se distribuyen en el territorio de la siguiente manera:

**Tabla 52** Corregimientos del municipio de Montería - Córdoba

1	Morolindo	10	Jeraquiel	19	San Anterito
2	Santa Lucía	11	La Palomas	20	Santa Lucía
3	Santa Clara	12	Guasimal	21	Santa Isabel
4	Viejo Palotal	13	El Sabanal	22	Tres Palmas
5	Nuevo Paraíso	14	El Cerrito	23	Tres piedras
6	Martinica	15	Patio Bonito	24	Buenos Aires
7	Leticia	16	La Victoria	25	La Manta
8	Pueblo Bujo	17	Guateque	26	Nueva Esperanza
9	Loma Verde	18	San Isidro	27	Garzones

**Fuente:** Colombia.com<sup>215</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Una de las estrategias del municipio se centra en que la Alcaldía, el Concejo y Personería municipales, así como el Consejo territorial de planeación sean dinámicos, en cuanto la participación de las comunidades y sectores sociales sobre soluciones a los problemas y necesidades, ya que en su mayoría son apáticos a cualquier cambio, aunque sea positivo. En el municipio predomina una participación consultiva, orientada por intereses de desarrollo microcomunitario. Asimismo, los mayores obstáculos para ejercer la participación ciudadana lo constituyen: las crisis económicas, la desinformación, la desconfianza en lo público y la corrupción de los funcionarios públicos.

### 3.6.2.2 Actores sociales presentes en el territorio organizaciones del sector

La participación social es un proceso que implica que las comunidades se organicen funcional y legalmente de manera adecuada, para atender el reto de construir y mejorar las condiciones de vida de sus comunidades (comunidades, veredas, corregimientos). Las organizaciones de base, entre ellas las Juntas de Acción Comunal, las Juntas de Vivienda Comunitaria y las ASOCOMUNAS, hoy, pueden establecer acuerdos y alianzas que apalanquen los procesos de formación,

<sup>215</sup> COLOMBIA.COM. Elecciones regionales 2015: JAL [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<https://www.colombia.com/elecciones/2015/regionales/resultados/electorales.aspx?C=JA&D=13&M=1&L=35>>

institucionalización y promoción de la participación, y ser gestores reales del Desarrollo Local de municipio<sup>216</sup>.

En Montería, las organizaciones de participación ciudadana más representativas son<sup>217</sup>:

- Asociaciones de Víctimas de Planeación,
- JAC,
- JAL,
- Asocomunal,
- ASCUN,
- ONG,
- veedurías ciudadanas,
- asociaciones campesinas,
- grupos étnicos,
- asociaciones de las organizaciones de mujeres,
- sindicatos,
- consejos comunales, y
- comités de participación comunitaria en salud.

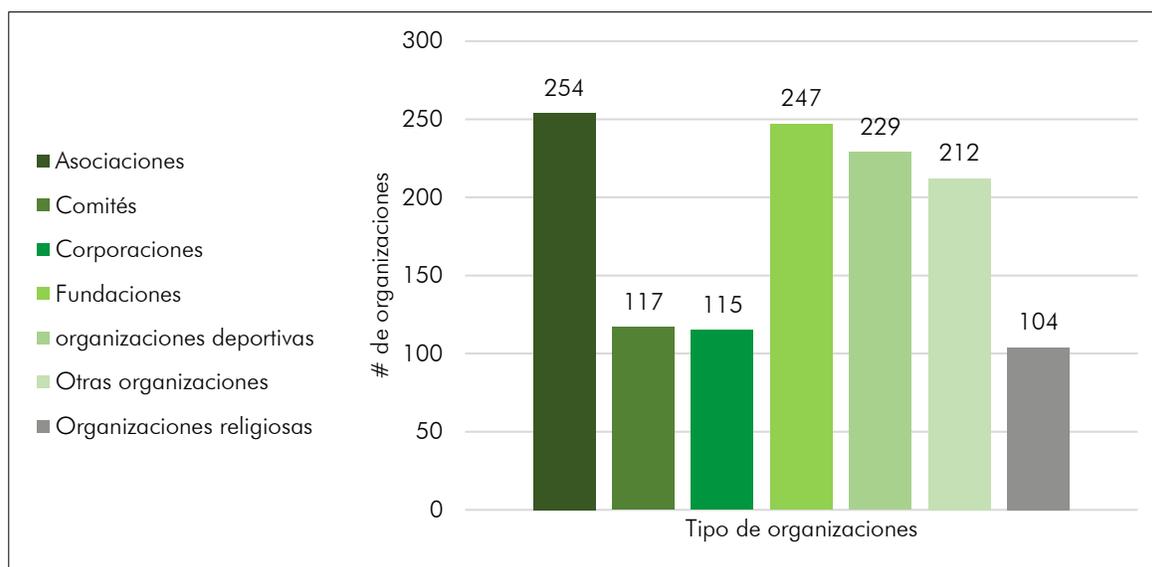
En total en el municipio de Montería existen alrededor de 238 JAC, de las cuales 178 pertenecen a la zona urbana del municipio y 105 en la zona rural. Durante el periodo 2005-2011 fueron registradas ante la Personería Municipal 24 veedurías ciudadanas, en donde sus intereses en objeto de control social son los temas de obras de infraestructura, programas sociales, gestión pública en general, gestión de EPS, inversión de regalías e inversión en servicios públicos.

Según el gráfico 27, Montería cuenta con 1.278 organizaciones sociales, de las cuales se distribuyen asociaciones, comités, corporaciones, fundaciones, organizaciones deportivas y religiosas.

---

<sup>216</sup> NEGRETE, Víctor. ¿Montería sostenible? ¿Es posible? ¿De quiénes depende? Ocedal Comunicación Educativa Nro. 59 [en línea]. Santafé de Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.cedal.org.co/es/revista-interaccion/monteria-sostenible-es-posible-de-quienes-depende-2>>

<sup>217</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Convocatoria pública conformación del consejo municipal de participación ciudadanía [en línea]. Montería, 2016 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/ConvocatoriaConsejoMunicipalParticipaci13abril2016.pdf>>

**Gráfico 27** Organizaciones sociales del municipio de Montería

Fuente: MEJÍA<sup>218</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

En Montería, para la JAL, existen 193 ediles electos para el periodo 2012-2015, de los cuales 131 ediles electos son de la zona rural y 62 de la zona urbana distribuidas así: 7 por comuna y 5 por cada corregimiento<sup>219</sup>. A estas JAL se les puede considerar como un «puente» entre la comunidad, el Alcalde y el Concejo para solucionar los problemas globales de toda una comuna o corregimiento<sup>220</sup>.

### 3.6.2.3 Vulnerabilidad social y conflictos

En el municipio de Montería existen varias comunidades asentadas en zonas de alto riesgo, las cuales sufren constantemente las consecuencias de fenómenos naturales como inundaciones, vendavales y movimientos de masa. Las causas del poblamiento de estas zonas están marcadas por diversos fenómenos socio-políticos como el desplazamiento forzado y la deficiente aplicación en el pasado de las normas de ordenamiento territorial, entre otros. Además, Montería es el municipio del departamento con mayor porcentaje de personas desplazadas, lo que sin lugar a dudas puede desencadenar en situaciones de pobreza y vulnerabilidad.

<sup>218</sup> MEJÍA, Helem. La participación ciudadana en perspectiva [en línea]. Montería: Alcaldía de Montería. Secretaría de Gobierno Municipal, 2012 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/conceptos-participacion.pdf>>

<sup>219</sup> COLOMBIA.COM. Elecciones regionales 2015: Resultados JAL. Óp. cit.

<sup>220</sup> REGISTRADURÍA NACIONAL DEL ESTADO CIVIL. Diferencias JAC y JAL [en línea]. Bogotá, 2011 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.registraduria.gov.co/descargar/jac-jal.pdf>>

**Tabla 53** Escenarios de riesgo presentados en el municipio de Montería

<b>Escenario de riesgo por inundaciones</b>	
1.	Las inundaciones que se presentan en el municipio son causadas por fuertes precipitaciones, lo que conlleva al represamiento de aguas lluvias en los barrios y corregimientos ubicados en las zonas bajas (Villa Jiménez, Las viñas, El Dorado, Furatena, Villa Paz, Nueva Esperanza, Villa Sorrento, Villa Fátima, El Poblado, Los Nogales, El Paraíso, Villa Los Alpes, El Laguito, Cúndama, Canta Claro – Sector Nipi A, B, y C, Villa Rosario; en el área rural como es el caso de los corregimientos los escenarios de riesgo se presentan por desbordamiento de los cauces naturales existentes en las zonas de Leticia, Martinica, El Cerrito, y veredas Boca de la Ceiba, Arenal), o desbordamientos en las ciénagas, caños, riachuelos y el río Sinú (Brisas del Sinú, Zarabanda, Playa Brígida, Nuevo Milenio, Villa Nueva, Caracolí, La Rivera, El Puente Nro. 1 y 2, Betanci, Los Colores, el níspero, corregimiento de Jaraquiel, Las Palomas, Guasimal, Caño Viejo Palotal, las veredas de El Floral, El Vidrial, Las cruces, Aguas Vivas, Los Cedros, nuevo paraíso, Leticia y Martinica).
<b>Escenario de riesgo por vendavales</b>	
2.	Generalmente causan caídas de árboles y destechamiento de las viviendas, especialmente en la zona conocida como El Cerro (Sierra Chiquita) y el barrio Villa Cielo, entre otros barrios y en la zona rural del municipio (El Sabanal, El Cerrito, Tres Palmas, San Isidro, Nueva Lucia, Leticia).
<b>Escenario de riesgo por sequías</b>	
3.	Originadas especialmente por la reducción de lluvias afectando especialmente la zona rural dispersa (Martinica y Leticia, al igual que Nuevo Paraíso, El km 12, El Cerrito, San Anterito y la vereda los Pericos, km 15 y Los Corrales), donde las fuentes de agua bajan su cauce, presentando escases de agua.
<b>Escenario de riesgo por movimientos en masa</b>	
4.	Se han presentado deslizamientos en la zona conocida como El Cerro (Sierra Chiquita – Zona Urbana), ubicada al sur de la ciudad, lo que ha causado principalmente por erosión antrópica.
<b>Escenario de riesgo pos sismo</b>	
5.	Las magnitudes máximas registradas en la zona corresponden a valores de 6,5 de un evento ocurrido en 1942 cerca del municipio de Pueblo Nuevo; otro evento con magnitud 5,7 se registró en 1992 cerca de Arboletes y un sismo de tamaño similar afectó el Alto Sinú en Tierralta en 1970.

Fuente: Alcaldía de Montería<sup>221</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

### 3.6.2.4 Situación actual relacionada con la población étnica

El municipio de Montería no hay presencia de grupos étnicos reconocidos. En los últimos años, debido a los problemas de violencia, se han desplazado desde otras regiones, indígenas Emberá-Katíos y Zenúes hacia el área urbana del municipio, congregándose en el barrio La Coquera, pero sin ningún tipo de esquema sociopolítico organizados. Sin embargo, a nivel departamental, se reconoce 6 resguardos indígenas en municipios diferentes a Montería.

<sup>221</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastre. Óp. cit.

### 3.6.3 Identificación actores económicos y productivos

#### 3.6.3.1 Factores económicos generales del municipio

Montería, como capital del Córdoba, en el año 2015 aportó el 30,4% del valor agregado departamental según lo reportado por el DANE<sup>222</sup>, siendo de gran importancia en la dinámica de la economía departamental. Las actividades económicas y productivas en el municipio se relacionan básicamente en agrícola y ganadero. Otras actividades que contribuyen al crecimiento de su Producto Interno Bruto (PIB) pero en menor proporción son: la minería (ferro níquel, carbón, gas natural, oro), los recursos forestales y piscícolas. Sin embargo, es uno de los centros ganaderos, agroindustriales y culturales más importantes de la Región Caribe colombiana. Es considerada la capital ganadera de Colombia, por lo que se celebra la Feria Nacional e Internacional de la Ganadería<sup>223</sup>.

#### A Actividad Agropecuaria

La ganadería bovina es la principal actividad productiva de Córdoba; este departamento concentra uno de los mayores inventarios ganaderos de Colombia y su hato representa el 10 % del inventario ganadero nacional y el 30 % del regional. Montería concentra el 23 % del área departamental en pastos con fines ganaderos con más de 385.000 ha dedicadas a esta actividad<sup>224</sup>.

El campo monteriano cosecha en gran escala y de manera mecanizada algodón, arroz, maíz y sorgo, además de los cultivos de subsistencia, en menor escala como frijol, maíz, ñame, yuca y plátano. La topografía de sus suelos es plana, lo que ha permitido la total mecanización. Además, vale decir, que los suelos de todo el Sinú son catalogados como fértiles, pero son ocupados principalmente por la ganadería que es la actividad tradicional de la región. Según el informe del POT, los suelos están destinados a las labores agrícolas que se hacen principalmente en cultivos anuales. El total de su producción agrícola es despachada a otras regiones de Colombia, ya que no se cuenta con infraestructura agroindustrial para su procesamiento<sup>225</sup>.

<sup>222</sup> DANE. Informe de coyuntura económica regional ICER. [en línea]. Córdoba, 2015. Disponible en internet: <[https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER\\_Cordoba2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER_Cordoba2015.pdf)>

<sup>223</sup> CÁMARA DE COMERCIO DE MONTERÍA. Estudio Económico Departamento de Córdoba 2017 [en línea]. Montería, 2018 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <[https://www.ccmonteria.org.co/transparencia/estudio\\_socioeconomico\\_2017.pdf](https://www.ccmonteria.org.co/transparencia/estudio_socioeconomico_2017.pdf)>

<sup>224</sup> ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan Maestro de Cambio Climático – Montería Ciudad Verde 2019. Óp. cit.

<sup>225</sup> MINISTERIO DE TRABAJO y PNUD. Perfil Productivo Municipio de Montería. RED OMERT. Óp. cit.

### 3.6.3.2 Actores económicos presentes en el municipio

Existen, a nivel local, organizaciones de productores y gremios productivos de segundo nivel que hacen presencia en el territorio, los cuales están legalmente constituidos y funcionales:

**Tabla 54** Actores económicos

Nro.	Representante legal/responsable	Sector/Actividad
1	Arvill Alimentaria Ltda.	Sector Económico: Ganadería
2	Cooperativa Integral de Agricultores de Tierralta Ltda.	
3	Ingeniar de la Costa Ltda.	Sector Económico: forestal
4	Fundacion Monteverde Forestal	
5	Forestal Costa Verde S. A. S.	Sector Económico: Agrícola
6	Fedearroz	
7	Inversiones Boada S. C. S.	
8	Ecoikos E A T	
9	Agro Inversiones Byv S.A.S.	
10	Productora De Arroz De Córdoba S.A.	
11	Asociación de Campesinos de Montería y Valencia	Entidad sin ánimo de lucro
12	Monte Claro Ltda.	Sector Económico: Agropecuario
13	Manzur Imbett S. C. S.	
14	Agropecuaria Casaloma Ltda.	
15	Ganaderia La Maestranza S. A. S.	
16	Empresa Asociativa de Trabajo Puerto Colombia	
17	Agropecuaria El Vallecito S. A. S.	
18	Ganadería El Milagro Ltda.	
19	Hacienda Palma Azul S. A. S.	
20	Agropecuaria Tabaida S. A. S.	
21	Comercializadora de Ganado la Palestina S. A. S.	

**Fuente:** EINFORMA S.A.<sup>226</sup> y el ECONOMISTA AMÉRICA.COM, 2018<sup>227</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018.

Adicionalmente, como aliados estratégicos en la tabla 55, se presenta las plantas de beneficio, que cuenta con la autorización sanitaria provisional, como posibles aliados para el aprovechamiento de los residuos animales resultantes de su actividad:

**Tabla 55** Plantas de beneficio de ganado

Nro.	Representante legal/Responsable	Actividad
1	Frigorífico del Sinú Frigosinú S. A.	Plantas de beneficio, despote y desprese de ganado
2	Saurios Ltda.	

<sup>226</sup> EINFORMA S.A. Directorio de empresas de Colombia: Empresas de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca en Córdoba [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.informacion-empresas.co/A\\_AGRICULTURA-GANADERIA-CAZA-SILVICULTURA-Y-PESCA/Departamento\\_CORDOBA.html?qPg=49](https://www.informacion-empresas.co/A_AGRICULTURA-GANADERIA-CAZA-SILVICULTURA-Y-PESCA/Departamento_CORDOBA.html?qPg=49)>

<sup>227</sup> EL ECONOMISTA AMÉRICA.COM. Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos en Montería [en línea]. 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://empresite.economistaamerica.co/Sector/C1001011/localidad/MONTERIA/>>

Nro.	Representante legal/Responsable	Actividad
3	Renacimiento Ltda.	
4	Frigocer-Expocol S. A. del municipio Cereté	
5	Planta de beneficio municipal de Montelíbano Jaguazal S. A. E. S. P.	
6	Planta de beneficio animal de Valencia	

Fuente: INVIMA<sup>228</sup>. Adaptado por INERCO Consultoría Colombia, 2018

Asimismo, existen actores que forman parte de otros sectores, pero que pueden tener injerencia en el campo de aplicación del proyecto. Estos actores se presentan en la tabla 56, y pertenecen específicamente en los sectores de energía, agua potable, agua residual y residuos sólidos:

**Tabla 56** Empresas prestadoras de servicios públicos

Empresas prestadoras de servicios públicos	Actividad
Proactiva Veolia Aguas de Montería S. A. E. S. P.	Servicios públicos de acueducto y alcantarillado
Electricaribe	Servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica
Surtigas S.A E.S.P.	Distribución y comercialización de Gas Natural
Servigenerales S.A E.S.P	Servicio de recolección y transporte y disposición final de residuos sólidos

Fuente: INERCO Consultoría Colombia, 2018.

<sup>228</sup> INVIMA. Plantas de beneficio, desposte y desprese [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.invima.gov.co/images/pdf/informate/plantas/PLANTAS-AUTORIZADAS-PARA-SU-FUNCIONAMIENTO.pdf>>

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño conceptual de la planta recomendada con análisis costo-beneficio concertada tuvo tres modelaciones para diferentes combinaciones de biomasa: para 550 t/día, 2.000 t/día y 3.500 t/día. Estas modelaciones contemplan el uso de RSU para el primer modelo; un 5 % de las biomasa residual disponibles más RSU para un segundo modelo, y un 10 % de biomasa más RSU para un tercer modelo. Estas modelaciones para diferentes combinaciones de residuo y biomasa residual permitieron contar con FCL con los que se identifican el monto de las inversiones, los costos operacionales, los ingresos del proyecto, el VPN, la TIR, la relación costo-beneficio y el periodo de recuperación.

En específico, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- Con los tres modelos se buscó hallar la cantidad de biogás que representa el objetivo principal de la digestión anaeróbica de la biomasa residual. En el primer escenario con RSU, para un tamaño de 550 t/día, se obtuvo 35.262 m<sup>3</sup>/día de biogás. Con la segunda alternativa de 2.000 t/día, se obtuvo una cantidad de biogás equivalente a 88.943 m<sup>3</sup>/día; mientras, con el tercer escenario de 3.500 t/día, se obtuvieron 142.624 m<sup>3</sup>/día de biogás. Con esto se quiere resaltar que la obtención del biogás de las mejores calidades es el objetivo prioritario de las alternativas, ya sea para utilizarlo para la generación de energía eléctrica o para transformación y venta de biometano.
- En cada uno de los escenarios o alternativas, para la valorización energética de los residuos, se utilizaron componentes fundamentales como bahía de descargue de RSU, bahía de descarga de otras biomasa, foso de RSU y de otras biomasa, rompe bolsas de RSU, separación magnética, clasificación manual en banda transportadora, trituradores de biomasa, homogeneizadores de biomasa, digestor anaeróbico, motor de combustión interna (reciprocante) y generador. Se calculó la cantidad de digestato producido y el número de personas que se requieren para la operación.
- Las áreas requeridas para la implementación del proyecto son de 1,30 ha, 3,40 ha y 5,10 ha para cada una de las tres alternativas mencionadas. Con estas áreas se pudo verificar en campo, áreas que posiblemente pueden ser utilizadas para el desarrollo del proyecto ubicadas en los alrededores de la laguna de oxidación suroriental de la ciudad de Montería, dentro de la franja forestal protectora, que coincide con las áreas de aislamiento para servicios públicos de la PTAR que es de 500 m. Dentro de esta franja también se encuentra construida la subestación eléctrica de Nueva Montería, muy cerca de la laguna PTAR (genera biogás de los lodos activados) y al área identificada para el desarrollo del proyecto de biogás. Luego de medir las áreas dentro de la franja, se estimó que hay una disponibilidad importante mayor 6,7 ha, en la alternativa más exigente.
- Los costos de inversión para cada alternativa contemplaron estudios y diseños preliminares de construcción, obras generales, edificaciones, equipos de pretratamiento de residuos, equipos para la valorización energética y producción de energía eléctrica. Las inversiones

para el escenario 1 son de COP 21,77 mil millones, los del escenario 2 son de COP 49,82 mil millones y del escenario 3 son de COP 76,75 mil millones.

- Los costos operacionales que incluyen gastos generales, personal, valorización energética y generación de energía, y gestión ambiental para la alternativa 1 son de COP 7.166.631 anuales, para la alternativa 2 son de COP 15.098.716 y para la alternativa 3 son de COP 22.741.775.
- Los ingresos contemplan servicio de tratamiento de RSU, servicio de tratamiento de otras biomásas, venta de materiales metálicos, venta de materiales plásticos, generación de energía eléctrica, mejorador de suelos (digestato) y bonos de carbón. Los ingresos anuales alcanzan los siguientes niveles: para el escenario 1, con 550 t/día, son de COP 9,58 miles de millones anuales, para la alternativa 2 son COP 20,77 miles de millones anuales, y para la alternativa 3 son COP 29,82 miles de millones.
- Luego de realizar las modelaciones económicas y financieras con la información descrita, se observó que para cada uno de los escenarios con una inversión 100 % con cargo a recursos privados, ninguno de los escenarios es exitoso. En el escenario 1, con 550 t/día, se observa una TIR de 4,15 % con un VPN de COP -7,79 mil millones. En el escenario 2, la TIR es de 3,24 % con un VPN de COP -20,23 mil millones, y en el escenario 3, la TIR es de -0,13 % con un VPN de COP -43,91 mil millones. Los periodos de pago son 14, 16 y 20 años para la recuperación.
- Una alternativa revisada y planteada en el ejercicio de los tres modelos es la cofinanciación solamente de la inversión, con recursos no reembolsables, sin incluir los costos operativos. Pensando en obtener una TIR alrededor del 12 %, se obtuvo que los niveles de cofinanciación son los siguientes: para el escenario 1, la cofinanciación de los COP 21,77 mil millones deben alcanzar el 40 %; para la alternativa 2, para los COP 49,82 mil millones en la inversión, se debe cofinanciar el 45 %, y para la alternativa 3, que tiene una inversión de COP 76,75 mil millones, la cofinanciación debería ser del 60 %.
- Dado que el escenario más conveniente para el prototipo es el de menor inversión, con el menor porcentaje de cofinanciación con una TIR de aproximadamente del 12 % y un periodo de retorno de 8 años aproximadamente, se recomienda adelantar el proyecto de 550 t de residuos orgánicos urbanos RSU. Esta alternativa no contempla el ingreso de biomásas residuales de la región, pero si este fuera el objetivo, se requiere una mayor inversión para incluir por lo menos un 10 % de biomasa residual de la región.

## BIBLIOGRAFÍA DEL CAPÍTULO

ACOLGEN. Cómo funciona el mercado [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://www.acolgen.org.co/index.php/sectores-de-generacion/como-funciona-el-mercado>>

ADVANCED PLASMA POWER. Our technology [en línea]. Reino Unido, 2018 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://advancedplasmapower.com/solutions/our-technology/>>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Misión y visión [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.anh.gov.co/la-anh/Paginas/Mision-y-Vision.aspx>>

AGENCIA NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES. Institucional [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.anla.gov.co/Institucional>>

ALCALDÍA DE MONTERÍA. Convocatoria pública conformación del consejo municipal de participación ciudadanía [en línea]. Montería, 2016 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/ConvocatoriaConsejoMunicipalParticipaci13abril2016.pdf>>

\_\_\_\_\_. Informe Recursos Naturales y Medio Ambiente Municipio de Montería [en línea]. Montería, 2017 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/2018/informacion/planes/Informe%20recursos%20naturales%202017.pdf>>

\_\_\_\_\_. Fundamentos Básicos: organigrama [en línea]. Montería, 2017 [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<http://www.monteria.gov.co/alcaldia/fundamentos/>>

\_\_\_\_\_. Plan Maestro de Cambio Climático. Montería Ciudad Verde 2019 [en línea]. Montería, 2011 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet:

<[http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/PICC\\_CIUDAD\\_VERDE\\_MONTERIA.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosMarinosCosterosyRecursosAcuatico/PICC_CIUDAD_VERDE_MONTERIA.pdf)>

ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastre [en línea]. Montería: CMGRD, 2012 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/369/PMGRD%20Cereje.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

ALCALDÍA MUNICIPAL DE CÓRDOBA. Nuestro municipio [en línea]. Quindío, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.cordoba-quindio.gov.co/municipio/nuestro-municipio>>

ALTERNRG. Commercial Operating Plants [en línea]. Canadá, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[http://www.alternrg.com/waste\\_to\\_energy/projects/](http://www.alternrg.com/waste_to_energy/projects/)>

ARGENTINA. Legislatura de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Ley 5966 (3, mayo, 2018). Modificación de la Ley N.º 1854. Residuos Sólidos Urbanos [en línea]. Buenos Aires, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://normasambientales.com/ver-norma-ley-5966-modificacin-de-la-ley-n-1854-residuos-slidos-urbanos-2786.html>>

ARZATE, Esther. Mancuerna con IP en recolección de basura. Alcaldes de México [en línea] México, 2018 [2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.alcaldesdemexico.com/septiembre-2018/mancuerna-con-ip-en-recoleccion-de-basura/>>

ASAMBLEA DE CÓRDOBA. Atribuciones legales [en línea]. Córdoba, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://asamblea-cordoba.gov.co/nosotros/>>

AUTOPISTAS DE LA SABANA S. A. y AUDYSA LTDA. Prospección de dos corredores viales de Montería Córdoba [en línea]. Medellín, 2009. pp. 7-8 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <http://biblioteca.icanh.gov.co/DOCS/MARC/texto/ARQ-1453.pdf>

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico [en línea]. Washington: Gabriel Blanco, Estela Santalla Verónica Córdoba, Alberto Levy, Marzo de 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8202/Generacion-de-electricidad-a-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos-Un-analisis-teorico-practico.PDF?sequence=1>>

\_\_\_\_\_. Temas Priorizados en el Plan de Acción Montería [en línea]. 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://urbandashboard.org/iadb/index\\_city.html?id=MTR&lang=ES](http://urbandashboard.org/iadb/index_city.html?id=MTR&lang=ES)>

BANCO MUNDIAL. Marco ambiental y social [en línea]. 2018 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<https://www.bancomundial.org/es/projects-operations/environmental-and-social-framework>>

BIOGASMART. Biogasmart. Italia, 2018 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.biogasmart.com/>>

BLANCO, Gabriel, *et. al.* Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico [en línea]. Washington, 2017, p. 7 [citado en 2018-10-12]. Disponible en: <<https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8202/Generacion-de-electricidad-a-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos-Un-analisis-teorico-practico.PDF?sequence=1&isAllowed=y>>

CÁMARA DE COMERCIO DE MONTERÍA. Estudio Económico Departamento de Córdoba 2017 [en línea]. Montería, 2018 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <[https://www.ccomonteria.org.co/transparencia/estudio\\_socioeconomico\\_2017.pdf](https://www.ccomonteria.org.co/transparencia/estudio_socioeconomico_2017.pdf)>

CASTILLO, Edgar. Potencial del proceso de pirólisis como alternativa para la valorización de los residuos [en línea]. Vol. 13, Nro. 21 (2008), pp. 18-23 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec\\_v13\\_no21\\_2009\\_p18-23.pdf](https://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p18-23.pdf)>

CERÁMICA ZARATÁN. Línea de gasificación para la obtención de gas de síntesis con destino a la planta de cogeneración y horno de cocido de ladrillos: EIA [en línea]. Valladolid: GEPRECON, 2015. Disponible en Internet: <[https://www.nodo50.org/ecologistas.valladolid/IMG/pdf/esia\\_gasificacion\\_definitivo.pdf](https://www.nodo50.org/ecologistas.valladolid/IMG/pdf/esia_gasificacion_definitivo.pdf)>

CEWEP. Waste-to-Energy Plants in Europe in 2015 [en línea]. Alemania, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://www.cewep.eu/2017/09/07/waste-to-energy-plants-in-europe-in-2015/>>

CHIVA V., Sergio, *et. al.* Depuración de aguas residuales: digestión anaerobia [en línea]. Universitat Jaume I y FACSA, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva\\_2018\\_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/173363/Chiva_2018_Depuracion.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

CHILE. Congreso Nacional. Ley 20.920 (01, junio, 2016). Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje [en línea]. Santiago: BCN, 2016 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1090894>>

CLEAN ENERGY WORLD. Biogest Presents Innovative Technology For Integrated Systems At Biogas Plants [en línea]. Reino Unido, 2016 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.cleanenergyworld.net/biogest-presents-innovative-technology-integrated-system-biogas-plants.html>>

COCCHI, Maurizio. Weltec Biopower Builds 500 kW Biogas Plant for Vegetable Producer. BE Sustainable [en línea]. Marzo, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.besustainablemagazine.com/cms2/weltec-biopower-builds-500-kw-biogas-plant-for-vegetable-producer/>>

COLOMBIA. CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 99 (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá: El Congreso, 1993. Título VI: De Las Corporaciones Autónomas Regionales [citado en 2018-11-14]. Disponible en

internet: <<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>>

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 142 (11, julio, 1994). Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones [en línea]. Bogotá: El Congreso, 1994 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0142\\_1994.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html)>

COLOMBIA. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. CONPES 3874 (21, noviembre, 2016). Por el cual se crea política nacional para la gestión integral de residuos sólidos [en línea]. Bogotá D.C.: DNP, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>>

COLOMBIA.COM. Elecciones regionales 2015 [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.colombia.com/elecciones/2015/regionales/resultados/alcaldia.aspx?C=AL&D=13&M=1>>

\_\_\_\_\_. Elecciones regionales 2015: JAL [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<https://www.colombia.com/elecciones/2015/regionales/resultados/electorales.aspx?C=JA&D=13&M=1&L=35>>

COMISIÓN EUROPEA. Comunicación de la comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular [en línea]. Bruselas, 2015 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF)>

\_\_\_\_\_. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones. El papel de la transformación de los residuos en energía [en línea]. Bruselas, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2017/ES/COM-2017-34-F1-ES-MAIN-PART-1.PDF>>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Estructura del sector [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.creg.gov.co/index.php/es/sectores/energia/estructura-energia>>

CONSEJO DE MONTERÍA. Estructura organizacional [en línea]. 2018. [citado en 2018-11-15]. Disponible en Internet: <<http://www.concejodemonteria.gov.co/estructura-organizacional/>>

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE LOS VALLES DEL SINÚ Y DEL SAN JORGE. Informe de Gestión 2006 [en línea]. 2007 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF\\_GESTION\\_CVS\\_2006.pdf](https://www.cvs.gov.co/jupgrade/images/stories/docs/informes/gestion/INF_GESTION_CVS_2006.pdf)>

DE CASTRO, Paola y SALINETT, Sandra. Guidelines for the production of scientific and technical reports: how to write and distribute grey literature. Version 1.0 [en línea]. Grey Literature International Steering Committee GLISC, 2000 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://eprints.rclis.org/7469/1/nancy.pdf>>

DE LA TORRE, Alejandro. Ponem en marcha centro de residuos sólidos en Cajeme. Opera ya centro de transferencia de residuos sólidos en Cajeme y es líder de preservación ambiental [en línea]. México: Revista Crónica 10, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://revistacronica10.blogspot.com/2015/06/ponem-en-marcha-centro-de-residuos.html>>

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE NACIONAL DE ESTADÍSTICA Informe de conyuntura económica regional ICER [en línea]. Córdoba, 2016. p. 45 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER\\_Cordoba2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER_Cordoba2015.pdf)>

EINFORMA S.A. Directorio de empresas de Colombia: Empresas de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca en Córdoba [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://www.informacion-empresas.co/A\\_AGRICULTURA-GANADERIA-CAZA-SILVICULTURA-Y-PESCA/Departamento\\_CORDOBA.html?qPg=49](https://www.informacion-empresas.co/A_AGRICULTURA-GANADERIA-CAZA-SILVICULTURA-Y-PESCA/Departamento_CORDOBA.html?qPg=49)>

EL ECONOMISTA AMÉRICA.COM. Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos en Montería [en línea]. 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://empresite.eleconomistaamerica.co/Sector/C1001011/localidad/MONTERIA/>>

EQTEC. Gasificación de residuos y biomasa [En línea]. Barcelona, 2013 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.eqtec.es/es/proyectos/gasificacion-de-residuos-y-biomasa/karlovo-biomass-eood-ebioenergy>>

ESMAP. ESMAP at a glance [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.esmap.org/node/70853>>

EUROPEAN UNION, SEVENTH FRAMEWORK PROGRAMME y COOLSWEEP. Drivers for waste-to-energy in Europe [en línea]. Dinamarca [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://www.cleancluster.dk/wp-content/uploads/2017/06/59410ce0595ca.pdf>>

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Municipal waste management in Norway [en línea]. Noruega, 2013 [citado en 2018-10-15]. Disponible en internet: <<https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste/norway-municipal-waste-management/view>>

FEDEPALMA. Informe de gestión. 2016 [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<http://web.fedepalma.org/media/InformeFedepalma.pdf>>

FINDETER S.A. Plan de Acción 2032. Montería Sostenible de cara al Río Sinú [en línea]. 2015 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://issuu.com/findetersa/docs/monteria\\_baja](https://issuu.com/findetersa/docs/monteria_baja)>

FLEXSOL. Biogás [en línea]. Ucrania, 2016 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://flexsol.com.ua/es/biogas-plant-es/cubierta-para-gasometro-ab-cover/>>

FUNDACIÓN PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR. Estrategias para la gestión sostenible de los residuos en el horizonte 2020: Estudio de bases 5. Análisis de las tecnologías emergentes de valorización energética [en línea]. Madrid, 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[http://economiecircular.org/DOCUMENTACION/Publicaciones/Multiparticpantes/20141117\\_Estrategias%20Horizonte%202020\\_Estudio%20de%20Base%205.pdf](http://economiecircular.org/DOCUMENTACION/Publicaciones/Multiparticpantes/20141117_Estrategias%20Horizonte%202020_Estudio%20de%20Base%205.pdf)>

GAlA. Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos [en línea]. 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet <<http://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Gasificaci%C3%B3n-y-pir%C3%B3lisis-2017-ESP-1.pdf>>

GIZ. Fuentes de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de RSU y RME [en línea]. México, 2016 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-es-EnRes\\_Fuentes\\_de\\_recursos\\_financieros\\_para\\_proyectos\\_de\\_aprovechamiento\\_energetico\\_de\\_RSU\\_y\\_RME.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/giz2016-es-EnRes_Fuentes_de_recursos_financieros_para_proyectos_de_aprovechamiento_energetico_de_RSU_y_RME.pdf)>

GLOBAL GREEN GROWTH INSTITUTE. Reporte Final – Desarrollando el sector de biogás en Colombia Innovadores modelos de negocio y mecanismos de financiación orientados a catalizar la inversión del sector privado en proyectos de biomasa residual biogás/biometano en Colombia. LPH-2017-0056.

\_\_\_\_\_. How we work. Diciembre de 2017 [citado en 2018-10-18]. Disponible en Internet: <<http://gggi.org/how-we-work/>>

GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA. Organigrama [en línea]. Córdoba, 2012 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<http://www.cordoba.gov.co/gobernacion/organigrama.html>>

\_\_\_\_\_. Plan Departamental para la Gestión del Riesgo de Córdoba [en línea]. Montería. pp. 59-60 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/367/PDGR%20Cordoba.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>

GRAU, Armengol y FARRÉ, Oriol. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos: estudio técnico 2011-2020 [en línea]. Madrid: IDEA, 2011. pp. 21-36 [citado en 2018-10-05]. Disponible en: <[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e15\\_residuos\\_c3ead071.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e15_residuos_c3ead071.pdf)>

GREENPEACE. Nuevas tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos: Gasificación, pirólisis [en línea]. Argentina, 2008 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet:

<<http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/8/riesgos-tecnologias-residuos-urbanos.pdf>>

GRUPO BANCO MUNDIAL. Energía [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview#2>>

HAYELOM, Dargo, AYALIEW, Adhena y GEBREGERGS, Tekilt. Current updates on waste to energy (WTE) technologies: a review. En: Renewable Energy Focus. Vol. 24 (marzo, 2018) p. 9.

INVIMA. Plantas de beneficio, desposte y desprese [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.invima.gov.co/images/pdf/informate/plantas/PLANTAS-AUTORIZADAS-PARA-SU-FUNCIONAMIENTO.pdf>>

IRENA. Biomass for power generation: Renewable energy technologies [en línea]. Vol. 1 (junio, 2012) [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<http://irena.org/publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis---Biomass-for-Power-Generation>>

IFC. Acerca de IFC [en línea]. Washington, 2018 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/multilingual\\_ext\\_content/ifc\\_external\\_corporate\\_site/home\\_es](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/multilingual_ext_content/ifc_external_corporate_site/home_es)>

INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS. Objetivo y funciones [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.ipse.gov.co/ipse/objetivos-y-funciones>>

JOSE, Roberto. Piden actualizar la NOM-098-SEMARNAT-2002. Zócalo [en línea]. México: octubre, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <[http://www.zocalo.com.mx/new\\_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002](http://www.zocalo.com.mx/new_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002)>

JUNTA DE ANDALUCÍA. Potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera [en línea]. España: Consejería de Agricultura y Pesca, 2005. 19 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/biomasa.pdf>>

KUMAR, Atul. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. En: Waste Management. Vol. 69 (noviembre, 2017), pp. 407-422.

LA GUÍA DE MONTERÍA. Alcaldía – Información Básica [en línea]. 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.laguiaudemonteria.co/informacion-basica/>>

LA NACIÓN. Tecnología de incineración o gasificación lo que persigue es generar calor [en línea]. Costa Rica, 30 noviembre, 2013. Disponible en Internet: <<https://www.nacion.com/el-pais/servicios/tecnologia-de-incineracion-o-gasificacion-lo-que-persigue-es-generar-calor/7JEA4C2WUJDBTFLDFMIYW2M7Y/story/>>

MALINAUSKAITE, J. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. Energy [en línea]. Vol. 141 (2017) [citado en 2018-10-08]. Disponible en Internet en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217319862>>

MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (Part 1): overview of biomass. En: Bioresource Technology. Vol. 83, nro. 1 (mayo, 2002). Reino Unido: Elsevier; pp. 37-46.

\_\_\_\_\_. Energy production from biomass (Part 2): Conversion technologies. En: Bioresource Technology. Vol. 83, nro. 1 (mayo, 2002). Reino Unido: Elsevier; pp. 47-54.

MACRO Y MACRO CONSULTORES Y ALCALDÍA DE MONTERÍA. Plan De Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Montería, Córdoba -PGIRS- [en línea]. Bogotá, 2017 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://monteria.gov.co/docs/Producto%204.pdf>>

MEJÍA, Helem. La participación ciudadana en perspectiva [en línea]. Montería: Alcaldía de Montería. Secretaría de Gobierno Municipal, 2012 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<http://www.monteria.gov.co/docs/conceptos-participacion.pdf>>

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Objetivos y funciones [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.minambiente.gov.co/index.php/ministerio/objetivos-y-funciones>>

MINISTERIO DE ENERGÍA DEL GOBIERNO DE CHILE, PNUD, FAO y GEF. Manual de Biogás [en línea]. Santiago de Chile, 2011 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>>

MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. Sistema General de Regalías [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <[http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/faces/portales/SGR;jsessionid=hn0XdK5Cnfd3Ncu5sSUpC5hndj1GVZtrW7EoD4\\_tuBl85WmBe0H!1060612563?\\_afLoop=124205321503400&\\_afWindowMode=0&\\_afWindowId=null#!%40%40%3F\\_afWindowId%3Dnull%26\\_afLoop%3D124205321503400%26\\_afWindowMode%3D0%26\\_adf.ctrl-state%3Dgbxs6m8ut\\_4](http://www.minhacienda.gov.co/HomeMinhacienda/faces/portales/SGR;jsessionid=hn0XdK5Cnfd3Ncu5sSUpC5hndj1GVZtrW7EoD4_tuBl85WmBe0H!1060612563?_afLoop=124205321503400&_afWindowMode=0&_afWindowId=null#!%40%40%3F_afWindowId%3Dnull%26_afLoop%3D124205321503400%26_afWindowMode%3D0%26_adf.ctrl-state%3Dgbxs6m8ut_4)>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia [en línea]. Bogotá, 2010 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf>>

\_\_\_\_\_. Misión y visión [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://www.minminas.gov.co/mision-y-vision>>

MINISTERIO DE TRABAJO y PNUD. Perfil Productivo Municipio de Montería. RED OMERT [en línea]. Bogotá, 2013 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil\\_productivo\\_municipio\\_monter\\_](https://issuu.com/pnudcol/docs/perfil_productivo_municipio_monter_)>

MINISTERIO DEL INTERIOR. Misión y visión [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en Internet: <<https://www.mininterior.gov.co/el-ministerio/informacion-institucional/mision-y-vision>>

MILLÁN, Tania. Estudio de Factibilidad Técnica y Económica de una Planta de Pirólisis para la Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos [en línea], México, Universidad Autónoma Metropolitana, 2014. Trabajo de grado. Título de Ingeniera Ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana. División de Ciencias Básicas e Ingeniería [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyeclNVES/Tec\\_Sust/Estudio-de-Factibilidad-Tecnica-y-Economica-de-una-Planta-de-Pirólisis.pdf](http://energia.azc.uam.mx/images/PDF/ProyeclNVES/Tec_Sust/Estudio-de-Factibilidad-Tecnica-y-Economica-de-una-Planta-de-Pirólisis.pdf)>

NEGRETE, Víctor. ¿Montería sostenible? ¿Es posible? ¿De quiénes depende? Ocedal Comunicación Educativa Nro. 59 [en línea]. Santafé de Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.cedal.org.co/es/revista-interaccion/monteria-sostenible-es-posible-de-quienes-depende-2>>

OCDE. Evaluaciones del desempeño ambiental [en línea]. Colombia, 2014. Ed. CEPAL, Cap. 5 [citado en 2018-11-19]. Disponible en Internet: <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36663/1/lcl3768_es.pdf)>

OLAYA, Yeison y GONZÁLEZ, Luis. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Módulo para la asignatura de Construcciones Agrícolas [en línea]. Palmira: Universidad Nacional. 2009. pp. 8-9 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>>

PAVLOSTATHIS, Spyros y GIRALDO GÓMEZ, Eugenio. Kinetics of anaerobic treatment: a critical review. En: Critical reviews in environmental Control. Vol. 21, Nro. 5-6 (1991). pp. 411-490

PERÚ. Presidencia de la República. Decreto Supremo 014-2017-MINAM (20, diciembre, 2017). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos [en línea]. Lima: El Peruano, 2017, p. 18 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds\\_014-2017-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf)>

PESCHEL, Tanja. 1 MW biogas plant in Australia SUN&WIND ENERGY [en línea]. Alemania, Noviembre, 2015 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.sunwindenergy.com/bioenergy/1-mw-biogas-plant-australia>>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Mapa de actores y escenarios para la revisión y actualización de la política de la biodiversidad en Colombia [en línea]. Bogotá, 2009 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/actualizacion-politca-nacional-de-biodiversidad/5072\\_150310\\_anexo\\_2\\_mapa\\_actores.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/actualizacion-politca-nacional-de-biodiversidad/5072_150310_anexo_2_mapa_actores.pdf)>

REGISTRADURÍA NACIONAL DEL ESTADO CIVIL. Diferencias JAC y JAL [en línea]. Bogotá, 2011 [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.registraduria.gov.co/descargar/jac-jal.pdf>>

REVISTA DINERO. Panorama desalentador para la palma africana [en línea]. Bogotá, mayo de 2015 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/en-que-esta-palma-africana-2015/208957>>

RECIMAQ. Trituradora de residuos [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www.recimaq.com/portfolio-item/triturador-de-residuos/>>

RODRIGO, Javier, RODRIGO, María y FERNÁNDEZ, José. Alternativas de valorización y eliminación de Residuos Sólidos Urbanos [en línea]. España: Entornos Diseño y Percepción, S.L., 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo\\_llarri\\_Javier/publication/267270678\\_Alternativas\\_de\\_valorizacion\\_y\\_eliminacion\\_de\\_residuos\\_solidos\\_urbanos/links/54ad5dfd0cf2828b29fc6dae/Alternativas-de-valorizacion-y-eliminacion-de-residuos-solidos-urbanos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo_llarri_Javier/publication/267270678_Alternativas_de_valorizacion_y_eliminacion_de_residuos_solidos_urbanos/links/54ad5dfd0cf2828b29fc6dae/Alternativas-de-valorizacion-y-eliminacion-de-residuos-solidos-urbanos.pdf)>.

SAE. Planta de tratamiento térmico de residuos peligrosos hospitalarios e industriales hospitalares [en línea]. Bogotá, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.saesa.com.co/>>

SALAMANCA, Eduard. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en plaza de mercado [en línea]. Manizales: Universidad de Manizales (Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente), 2014. 17 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <[http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca\\_Castro\\_Eduard\\_Mauricio\\_2014.pdf?sequence=1](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca_Castro_Eduard_Mauricio_2014.pdf?sequence=1)>

SARMIENTO, Yonatan. Sinú Montería, centro cultural y artístico [en línea]. Tunja: Universidad Santo Tomás. p. 25 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13911/2018sarmientoyonatan.pdf?sequence=1&isAllowed=>>>

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Aprovechamiento energético de residuos urbanos (EnRes). México, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/aprovechamiento-energetico-de-residuos-urbanos-enres>>

SERRATO, Camilo y LESMES, Verónica. Metodología para el cálculo de energía extraída a partir de la biomasa [en línea]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2016. 32 p. [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3687/1/Documento%20final%20Metodolog%C3%ADa%20Potencial%20Energ%C3%A9tico%20Biomasa.pdf>>

SIAC. Portafolio de Proyectos y Programas de Actividades del Mecanismo de Desarrollo Limpio [en línea]. Bogotá [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://www.siac.gov.co/climaticogei>>

SISTEMA GENERAL DE REGALÍAS. Órganos Colegiados de Administración y Decisión - OCAD [en línea]. Bogotá [citado en 2018-11-15]. Disponible en internet: <<https://www.sgr.gov.co/Qui%C3%A9nesSomos/%C3%93rganosdelSGR/%C3%93rganosColegiadosdeAdministraci%C3%B3nyDecisi%C3%B3n.aspx>>

SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Reportes técnicos operativos [en línea]. Bogotá [2018-07-26-2018]. Disponible en Internet: <<http://www.sui.gov.co/web/aseo/reportes/tecnico-operativos>>

SOTO, Michelle. Tecnología de incineración o gasificación lo que persigue es generar calor. La Nación [en línea]. Costa Rica: noviembre, 2013 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://www.nacion.com/el-pais/servicios/tecnologia-de-incineracion-o-gasificacion-lo-que-persigue-es-generar-calor/7JEA4C2WUJDBTFLDFMIYW2M7Y/story/>>

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe Nacional de aprovechamiento 2016 [En línea]. Ed. Nro. 1 (2017). Bogotá D.C.: diciembre, 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <[https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informenacionaldeaprovechamiento2016\\_dic1920161.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informenacionaldeaprovechamiento2016_dic1920161.pdf)>

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Informe final de residuos sólidos 2016 [en línea]. Ed. Nro. 9 (2017). Bogotá D.C.: diciembre de 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informenacional2016disposicionfinalderesiduossolidos1.pdf>>

STRINGFELLOW, Thomas. An Independent Engineering Evaluation of Waste to-Energy. Renewable energy world [en línea]. Plymouth enero, 2014 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.renewableenergyworld.com/articles/2014/01/an-independent-engineering-evaluation-of-waste-to-energy-technologies.html>>

TAIM WESER. Unidades de negocio: Plantas de biomasa [en línea]. Zaragoza, 2009 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.taimwesor.com/unidades-Negocio.aspx?id=14>>

TEC. Determinación del potencial y los requerimientos para aplicar la tecnología de gasificación por plasma en el tratamiento de desechos y la producción de energía eléctrica en el país: Capítulo 5 [en línea]. Costa Rica, 2012. Disponible en internet: <[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3157/determinacion\\_potencial\\_requerimientos\\_aplicar\\_tecnologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3157/determinacion_potencial_requerimientos_aplicar_tecnologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>

TECNIAMSA. Transformar el manejo de residuos generados por clínicas y hospitales [en línea]. Bogotá, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.tecniamsa.com.co/actualizate/>>

SAE. Planta de tratamiento térmico de residuos peligrosos hospitalarios e industriales hospitales [en línea]. 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en Internet: <<http://www.saesa.com.co/>>

THEMELIS, Nickolas J. Developments in thermal treatment technologies. En: Annual North American Waste-to-Energy Conference (Nro. 16; 2008: Philadelphia, Pennsylvania, USA. Proceedings of NAWTEC16, pp. 1-2. Disponible en: <<http://www.seas.columbia.edu/earth/WTErt/sofos/eecnaWTEc/naWTEc16/naWTEc16-1927.pdf>>

THE WORLD BANK. Municipal Solid Waste incineration A decision maker's guide [en línea]. Washington, D.C.: 2000. 2 pp [citado en 2018-12-12]. Disponible en internet

<<http://siteresources.worldbank.org/INTUSWM/Resources/463617-1202332338898/incineration-dmg.pdf>>

TONG, Huanhuan, *et. al.* Harvest Green energy through energy recovery from waste: A technology review and an assessment of Singapore. En: Renewable and Sustainable energy Reviews. Vol. 98 (diciembre, 2018), pp. 163-178.

UAESP. Seguimiento avance plan de supervisión y control del servicio de disposición final [en línea]. Bogotá: 2018 [citado en 2018-10-04]. Disponible en Internet: <<http://www.uaesp.gov.co/content/informes-supervision-disposicion-final>>

UNAM. Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos [en línea]. Bogotá: 2009 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <[http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones\\_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf](http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/publicaciones_conagua/RESIDUOS%20PELIGROSOS/EST-EVA2009.pdf)>

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2010/75/UE [en línea]. EUR-LEX, 2010 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?qid=1542841079965&uri=CELEX:32010L0075>>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Atlas biomasa residual [en línea]. Bogotá: UPME, 2016 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<http://upmeonline.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=31e8d575328842748672626929bdcbf6>>

\_\_\_\_\_. Entorno Institucional [en línea]. Bogotá, 2018 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<http://www1.upme.gov.co/Entornoinstitucional/NuestraEntidad/Paginas/QuienesSomos.aspx>>

\_\_\_\_\_. Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia [en línea]. Bogotá: 2015 [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <[http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_ENERGIAS\\_RENOVANLES\\_WEB.pdf](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf)>

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia [en línea]. Bogotá: 2003 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://bdigital.upme.gov.co/handle/001/1287>>

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Generalidades Montería [en línea]. Montería, 2016 [citado en 2018-11-14]. Disponible en internet: <<https://www.upb.edu.co/es/universidad/nuestro-campus/sobre-la-ciudad/monteria>>

UPME-UNAL. Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento [en línea]. Bogotá D.C., 2017 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe%20final.pdf>>

\_\_\_\_\_. Formulación de instrumentos técnicos que estimulen el aprovechamiento de la biomasa en la generación de energía a partir de fuentes no convencionales de energía – FNCE. 2015.

VEOLIA. In Mexico City, Veolia will build and operate one of the largest waste to energy facilities in the world and the first in Latin America. México, 2017 [citado en 2018-10-05]. Disponible en Internet: <<https://www.veolia.com/en/news/waste-to-energy-renewable-energy-mexico>>

WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Resources 2016 [en línea]. Cap. 7. Londres, 2016 [citado en 2018-10-12]. Disponible en internet: <<https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf>>

WTERT COLOMBIA [en línea] Disponible en Internet: <[www.WTErt.org.co](http://www.WTErt.org.co)>

ZÓCALO, México, 12-10-2017 [en línea] [citado en 2018-10-05]. Disponible en internet: <[http://www.zocalo.com.mx/new\\_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002](http://www.zocalo.com.mx/new_site/articulo/piden-actualizar-la-nom-098-semarnat-2002)>

ZWEBE, Dagmar. Comercialización de la tecnología de pirólisis [en línea]. Vol. 31, Nro. Especial, Tomo II (2010). Disponible en internet: <<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1557/1557>

## ANEXOS

Los siguientes anexos se encuentran adjuntos en el CD, el cual forma parte integral de este documento.

**Anexo 1** Fichas técnicas de información de tecnologías WTE

**Anexo 2** Modelo Técnico-económico y financiero de la planta de biogás.xls.

**Anexo 3** BD Priorización de proyectos .xls