

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA
LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
A PARTIR DE RESIDUOS FORESTALES EN VENEZUELA.
Caso. Aserradero Monagas**

Por
Aurelia Villasmil Rosales

Trabajo para optar al grado de Magister Scientiae en Gestión de Recursos Naturales
Renovables y Ambiente (con énfasis en Estudios de Impacto Ambiental)

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA, VENEZUELA
MARZO, 2015**

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

DEDICATORIA

A, ti **Dios mío** por darme la oportunidad de existir, aquí y ahora; por mi vida que la he vivido junto a ti nutriéndome de tu amor misericordioso. Gracias por iluminarme y darme fuerzas para caminar por tu sendero. A, ti **Virgencita** por llevarme en tu regazo día a día.

A, **mis Padres** por darme el don de la vida y apoyarme siempre en cada paso que he dado. Gracias son mi ejemplo de arduo trabajo y lucha en la vida. A ti **Mamita** por tu inmenso amor e incasables cuidados. **LOS AMO**

A, mi **hermanito** y mis bellas **hermanas** por ser mi apoyo fuente de alegría. Gracias por aceptarme como soy; por soportarme. Hoy, juntos vemos cada uno de nuestros sueños hechos realidad. **LOS AMO** mis hermanitos de alma.

A mis sobrinos, **Greibys Dayanay Emmanuel David** amores de mi vida, motores de mi existencia. **LOS AMO**.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE Aurelia

AGRADECIMIENTO

Mi Agradecimiento al Centro de Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT) de la Universidad de Los Andes, por haberme permitido formar en su casa de estudio.

A, mis tutores: Profesora Mónica Ilja, Profesor Miguel Cabeza Gracias por acompañarme en este largo caminar. Gracias por su paciencia, consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta investigación.

Al profesor Ernesto Flores amigo y colega gracias por sus sabios consejos, por enseñarme que independientemente de las adversidades de la vida siempre debemos ir con alegría y optimismo para alcanzar cada meta en la vida.

Al Ingeniero Richard Pérez por su apoyo en a nivel de información. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Dirección General de Energía Alternativa.

A, mis amigos y compañeros Marnelly, Yorley, Andrés, Yan Karla, Richard, profe Francisco Rivas, Silvia Pabón, Alirío, Gioconda, Isabelita, Mary, Majuced y Glorita por motivarme día a día con palabras de apoyo y de empuje para alcanzar este logro. Gracias a todos por no dejarme desfallecer

A mis amigos y compañeros de trabajo del Instituto Forestal Latinoamericano (IFLA) por motivarme día a día en el logro de esta meta.

Aurelia

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO	vvi
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	vix
RESUMEN	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO 1	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos de la investigación	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.1.1 Objetivos Específicos	2
1.3 Justificación	2
1.4 Alcances	4
CAPÍTULO 2	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Bases conceptuales	5
2.1.1 Residuo	5
2.1.2 Residuos forestales	5
2.1.3 Biomasa	6
2.1.3.1 Biomasa forestal	7
2.1.4 Energía	8
2.1.4.1 Energía de la Biomasa	9
2.1.4.2 Aplicaciones energéticas de la biomasa	14
2.1.5 Procesos de conversión de la biomasa en energía	15
2.1.5.1. Combustión	16
2.1.5.2 Gasificación	17
2.1.5.3 Pirólisis	19
2.1.6. Tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa forestal	19
2.1.6.1 Tecnologías de combustión:	19
2.1.6.2. Tecnologías de gasificación	25
2.2 Antecedentes	28
2.2.1 Experiencias en la utilización de biomasa forestal para la generación de energía	33
2.2 Experiencias metodológicas en la selección de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa	39
CAPÍTULO 3	40
METODOLOGÍA	40
3.1 Aspectos generales	15
3.2 Descripción de las fases de la investigación	15
CAPÍTULO 4	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1 Uso de tecnologías en otras partes del mundo	18
4.2. Diagnóstico de los residuos forestales en Venezuela	18
4.3 Procedimiento para la jerarquización de las tecnologías	48
4.3.1 Identificación y evaluación de los criterios de exclusión	48
4.3.2 Identificación de tecnologías y proveedores	50
4.3.3 Identificación de los criterios de gestión. Selección, valoración y ponderación de los indicadores de gestión	51
4.4 Aplicación a un caso de estudio	57

4.4.1 Aspectos generales.....	58
4.4.2 Características físico químicas de los residuos sólidos forestales:.....	59
4.4.3 Aplicación.....	59
4.4.3.1 Evaluación de los criterios de exclusión.....	59
4.4.1.2 Identificación de las tecnologías y proveedores.....	39
4.4.1.3 Asignación de los valores a los indicadores de gestión en la matriz de decisión y jerarquización tecnológica.....	64
4.5. Ajuste del procedimiento.....	67
CAPÍTULO 5.....	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones.....	70
REFERENCIAS CITADAS.....	47
APÉNDICE. Instrumento para expertos.....	79

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

LISTA DE TABLAS

2.1-Poder calorífico de algunos elementos en función a su contenido de humedad	11
2.2- Características físicas y químicas de combustibles sólidos	12
2.3- Peso específico y contenido de humedad de los residuos forestales	12
2.4. Estado típicos de la biomasa	13
2.5- Contenido energético de los residuos forestales y porcentaje en peso base seca	15
2.6- Procesos de transformación de la biomasa	16
2.7- Tecnologías para el aprovechamiento energético	17
2.8 -Quemadores de parrilla en los sistemas de combustión a mediana escala (500kW a 5Mw)	21
2.9.-Tecnologías del proceso de gasificación	27
2.10.Países productores de bioenergía 2005.....	29
4.1-Tecnologías en distintos países	44
4.2-. Indicadores de selección de tecnologías	51
4.3.Criterios de gestión e indicadores seleccionados	52
4.4- Población Servida	52
4.5- Poder calorífico del residuo	53
4.6- Capacidad nominal de la tecnología	53
4.7- Porcentaje de las cenizas	53
4.9- Emisiones de monóxido de carbono CO ₂ (g/m ³).....	54
4.10- Emisiones de óxido de nitrógeno NO _x (g/m ³)	54
4.11- Emisiones de dióxido de azufre SO ₂ (g/m ³)	55
4.12- Emisiones de sulfuro de hidrógeno H ₂ S (g/m ³).....	55
4.13- Generación de ruido	56
4.14- Inversión (M\$) requerida.....	57
4.15- Matriz de decisión	57
4.17- Tecnologías de combustión identificadas	64
4.18- Matriz síntesis del caso de estudio.....	66

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

LISTA DE FIGURAS

2.1- Clasificación de biomasa según su origen.....	7
2.2- Clasificación de la biomasa de acuerdo a su composición.	8
2.3- Biomasa como fuente de producción de energía.....	9
2.4- Distribución energética de un árbol.....	10
2.5- Procesos de conversión	15
2.6- Proceso de Combustión Directa.....	16
2.7- Aplicaciones del gas proveniente del proceso de gasificación.....	18
2.8- Parrilla fija plana	20
2.9- Parrilla móvil inclinada	11
2.10- Hornos de combustión de parrilla.....	12
2.11- Parrilla móvil con alimentación superior.....	12
2.12- Quemador de lecho fijo burbujeante	13
2.13- Calderas pirotubulares.....	24
2.14- Calderas acuotubulares.....	25
2.15- Gasificadores de lecho fijo de corriente ascendente o tiro directo (Updraft).	27
3.1- Esquema general de la metodología.....	40
4.1- Concentración de aserraderos en Venezuela (2012)	45
4.2- Residuos dejados en campo en aserraderos de la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas	46
4.3- Generación de residuos por regiones	46
4.4- Generación de residuos forestales en la región oriental	47
4.5- Generación de residuos forestales en la región Occidental	47
4.6- Flujograma de decisión.....	49
4.7- Identificación de los proveedores	50
4.8- Localización del área de estudio	57
4.9- Residuos acumulados en los aserrados de la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas	58
4.10- Distribución de los aserraderos en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas.....	61
4.11- Grupo de aserraderos agrupados en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas	62
4.12- Área común de los aserraderos en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas.....	63
4.13. Jerarquización de las tecnologías	67
4.14- Localización tentativa de la planta de energía. Parroquia Chaguaramas. Municipio Libertador estado Monagas	68

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL

Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Ambiente (con énfasis en Estudios de Impacto Ambiental)

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA SELECCIONAR TECNOLOGÍAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE RESIDUOS FORESTALES EN VENEZUELA.

Caso: Aserraderos Monagas

Proyecto de Trabajo de Grado

Autor: Aurelia Villasmil Rosales

Tutora: Prof. Mónica Ilija,

Co-tutor: Prof. Miguel Cabeza

Asesor: Prof. Ernesto Flores

Fecha: Marzo, 2015

RESUMEN

La presente investigación está centrada en contribuir a la gestión integral de los residuos de origen forestal en Venezuela, tomando en consideración criterios de tipo económico, social, técnico y ambiental; los cuales permiten seleccionar el tipo de tecnología adecuada para la producción de energía eléctrica a partir de residuos forestales en un área geográfica definida. Para ello, se formuló un procedimiento para la jerarquización de las tecnologías, comenzando por: la revisión de experiencias y procedimientos de selección tecnología utilizadas para la generación de energía, diagnóstico de la cantidad de residuos generados; formulación de un flujograma de decisión, identificación de los criterios de exclusión, tecnologías, proveedores, selección de los indicadores de gestión y su ponderación, finalmente la aplicación a un caso de estudio para ajustar la metodología propuesta. Los resultados reflejan que para el caso de estudio, la tecnología más óptima para la generación de energía a partir de residuos forestales es la combustión, lo cual está en concordancia con los ejemplos observados a nivel mundial. Se concluye que es factible la instalación de la planta de generación eléctrica considerando que la producción de residuos forestales los residuos poseen propiedades caloríficas adecuadas para la generación de energía. La tecnología seleccionada es la Caldera HERZ. Se realizó el ajuste del procedimiento para localizar tentativamente la planta energía en función de la distancia entre aserraderos y los residuos generados.

Palabras claves: Criterios, combustión, energía, flujograma, residuos, tecnologías, procedimiento.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental viene dada por factores antrópicos como resultado de las actividades para satisfacer las necesidades humanas. Dentro de los problemas que atacan el ambiente, es la alta dependencia de la combustión de los combustibles fósiles para la generación de energía, las emisiones de este proceso contribuye al calentamiento global. Aunado a esto la ausencia de planes en el manejo de residuos sólidos, dentro de estos se encuentran, los residuos provenientes de las actividades de origen forestal como son: los residuos dejados en campo durante el aprovechamiento forestal como también aquellos que se producen dentro de los aserraderos o empresas de transformación de la madera.

Venezuela no escapa de esta realidad, por lo tanto esta investigación se orienta a la gestión de residuos sólidos forestales, con el objetivo de contribuir en el aprovechamiento energético de la biomasa forestal proveniente de las Empresas de Transformación de la madera de esta manera darle un valor agregado a este tipo de residuos. La biomasa sirve para la generación de energía y contribuye a la mitigación del efecto invernadero, a la reducción de la lluvia ácida como también a reducir la presión provocada por la acumulación de los residuos en los patios de transformación de la madera.

La presente investigación se enfocó en el desarrollo de una metodología que permite jerarquizar las tecnologías que pueden ser utilizadas en la generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales, esta metodología está conformada por cuatro fases; siendo la primera indagación de los procesos de conversión energética, utilizando como combustible residuos forestales. Como segunda fase el diagnóstico de la situación actual de los residuos en Venezuela, seguidamente la descripción de los criterios de exclusión esta evaluación se realiza por medio del diseño de un flujograma de decisiones, la cual, muestra de manera secuencial los pasos que se deben seguir para conocer para saber si es viable o no la instalación de una planta de generación energética eléctrica.

Finalmente en esta investigación se tomó un caso de estudio, para aplicar la metodología propuesta a fin de reajustarla. El área seleccionada fue la parroquia Chaguaramas del municipio Libertador del estado Monagas, siendo uno de los municipios donde se desarrolla la actividad forestal en el País.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CAPITULO 1

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial la energía eléctrica que se utiliza se asocia fundamentalmente a combustibles fósiles como petróleo, gas y carbón, lo cual además afecta económicamente a aquellos países que dependen netamente de los combustibles fósiles con las fluctuaciones en el precio del crudo; también genera un impacto negativo sobre el ambiente, producto de la combustión de los mismos, como el incremento de gases en el efecto invernadero que conducen al cambio climático, el calentamiento global, y la destrucción de la capa de ozono, entre otros. Esta situación ha llevado a que algunos países realicen investigaciones en la búsqueda de soluciones para la generación de energías alternativas.

En particular, uno de los problemas en América Latina, según Meisen y Krumpel (2009), es la dependencia de la energía hidroeléctrica y de los biocombustibles. En el caso de Venezuela, se dispone de cuantiosas potencialidades de recursos hidroeléctricos, movidos a través de plantas emplazadas en la región de Guayana y los Andes, que han sido estimados en 83 430 Mw. según Cúellavar (2012). De estos, la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar, genera el 60% de energía del país y supera 50.000 GWh al año, lo que convierte al país en dependiente de la energía hidroeléctrica, cuyo rendimiento depende tanto de las condiciones climatológicas como del aumento o disminución del caudal, que también es afectado por la fuerte intervención de la cuenca del Caroní principal aportante del embalse.

Aunado a esta situación, en Venezuela también se presenta otro problema que se vive a nivel mundial, relacionado con el manejo de los desechos sólidos, siendo una de las causas, la ausencia de planes de manejo integral de los residuos que incluyan el reuso y valorización de los mismos. Dentro de estos desechos sólidos, conseguimos los residuos forestales, conformados por aquellos que quedan en las instalaciones de procesamiento de la madera después del proceso de transformación primaria como son: aserrín, corteza, virutas, recortes de madera, y aquellos residuos dejados en el bosque o en las plantaciones forestales después del aprovechamiento forestal como son ramas y troncos. Actualmente, para este tipo de residuos no existen planes de manejo integral de los mismos, por lo que suelen acumularse en las áreas de aprovechamiento forestal y procesamiento de la madera, convirtiéndose en un problema por la disminución de las superficies disponibles para trabajar y el riesgo de generación de incendios, debido a su alto poder calorífico. Adicionalmente, al no aprovechar completamente los bienes que se generan en el bosque, disminuye la sustentabilidad de la actividad forestal.

En consecuencia, de lo antes descrito esta investigación está centrada en contribuir a la gestión integral de los residuos de origen forestal en Venezuela, tomando en consideración criterios de tipo económico, social, técnico y ambiental; que permitan seleccionar el tipo de tecnología para la producción de energía eléctrica a partir de residuos forestales en un área geográfica definida en Venezuela.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Contribuir en el aprovechamiento energético de la biomasa forestal proveniente de las Empresas de Transformación de la madera.

1.2.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar y evaluar las alternativas tecnológicas utilizadas en plantas de generación de energía a partir de residuos forestales a nivel mundial.
- Diagnosticar la producción y el tipo de residuos forestales generados en las distintas empresas de Venezuela para el 2011 en cuatro regiones: Occidente, Oriente, Sur y Sur Occidente, sobre la base de estudios ya elaborados.
- Diseño de un procedimiento para la jerarquización de tecnologías que puedan ser utilizadas en el aprovechamiento energético de biomasa forestal en un área geográfica definida.
- Aplicar la metodología a un caso de estudio en los aserraderos de la parroquia Chaguaramas-municipio Libertador Estado Monagas.

1.3 Justificación

En el caso venezolano, el plan de desarrollo económico y social de la nación para el período 2007-2013, conocido como Proyecto Nacional Simón Bolívar en su Primer Plan Socialista (PPS), tiene 7 líneas estratégicas, dentro de las cuales se encuentra convertir a Venezuela en Potencia Energética Mundial, siendo uno de sus objetivos “*propiciar el uso de fuentes de energía alternas, renovables y ambientalmente sostenibles*” mediante la generación de fuentes alternas de energía (eólica, solar, hidráulica y otras), la generación de electricidad con energía no convencional y combustibles no fósiles además la aplicación de fuentes alternas como complemento a las redes principales y en la electrificación de zonas aisladas.

Dentro de estas fuentes de generación de electricidad con energía no convencional, este trabajo aborda el estudio de tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa forestal, recurso que según Ben (2003) cubre las necesidades energéticas mundiales en un 14% aproximadamente.

De esta manera, al diseñar una metodología que permita seleccionar una o varias tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa forestal, se podría dar respuesta a la disminución de residuos forestales en el área de transformación y también

así beneficiar a las poblaciones que se encuentren aisladas o no cuenten con un servicio eléctrico definido tal como lo expresa Pérez, M (2006), *"en los países en desarrollo, que normalmente tienen servicios de electricidad deficientes y pobres, la energía renovable ofrece una alternativa a las necesidades energéticas locales que pueden alimentar regiones de poblaciones pequeñas o bien poco densas que se encuentren en áreas rurales. También puede contribuir al parque energético que alimenta las redes eléctricas para satisfacer la demanda de electricidad en rápido crecimiento en zonas urbanas. Además las energías renovables aseguran la sostenibilidad del medio ambiente y desarrollan países difundiendo tecnologías energéticas alternas (p.4)*

El Estado venezolano recientemente promulgo la Ley de Gestión Integral de la Basura (2010), cuyo objetivo es establecer las disposiciones para regular la gestión integral de la basura, con el objeto de reducir su generación y garantizar que su recolección, aprovechamiento y disposición final sea realizada de forma sanitaria y ambientalmente segura. Esta investigación se sustenta jurídicamente tomando en consideración los siguientes artículos:

En el Artículo 15, Numeral 16, dentro de las competencias del Consejo Nacional de Gestión Integral de los Residuos y Desechos, establece *"Promover la investigación, creación y desarrollo de tecnologías aplicadas al manejo integral de residuos y desechos sólidos, conjuntamente con el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia ambiental"*.

En cuanto a la adecuación del Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos, se deben tomar en consideración varios aspectos, dentro de los cuales se encuentran *"prever la utilización de tecnologías y procesos que respondan a las necesidades y características de las diferentes regiones del país"*. (Ley de Gestión Integral de la Basura, Art. 20)

El Estado por medio de esta ley promueve el desarrollo y aplicación de tecnologías ambientalmente sustentadas que eviten o minimicen la generación de residuos y desechos sólidos, tal como se expresa en el Art 29 numeral 5 en la Ley de Gestión Integral de la Basura (2011)

Finalmente, el Artículo 29 Numeral 4 estipula que *"las personas naturales y jurídicas concurrirán, dentro de los límites de su responsabilidad, en el manejo adecuado de residuos y desechos sólidos, a los fines de valorizar los residuos generados."*

Tomando en consideración lo descrito anteriormente, esta investigación presenta una alternativa para la gestión de los residuos forestales con fines energéticos, la cual además de promover un manejo adecuado de los residuos, le da un valor agregado a los productos forestales; representa un aporte a las políticas nacionales en la búsqueda de

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

alternativas energéticas para la generación de energía, como una contribución al problema energético que pueda satisfacer las necesidades de la población venezolana, a pequeña escala; contribuye al desarrollo sostenible y la conservación del ambiente; y en menor medida, a desarrollar energías alternativas en el país, se disminuiría el uso de centrales termoeléctricas, lo cual contribuirá a la economía del país, ya que se podría vender el petróleo utilizado a través de sus derivados en estas centrales, incrementando la entrada de divisas.

1.4 Alcances.

Siendo el tema relativamente nuevo en el contexto venezolano, esta investigación busca contribuir a la gestión integral de los residuos forestales con la finalidad de valorizarlos, evaluar y seleccionar la tecnología adecuada con potencial para la producción de energía eléctrica en la Parroquia Chaguaramas municipio Libertador del Estado Mongas.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

Este capítulo desarrolla las bases conceptuales sobre el manejo de residuos forestales para el aprovechamiento energético y los antecedentes sobre el tema.

2.1. Bases conceptuales

2.1.1 Residuo

En cuanto al concepto de residuo existen varias definiciones, dependiendo del punto de vista del autor, dentro de las cuales destacan las siguientes:

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCED define residuos como: "aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo, que no han alcanzado un valor económico en el contexto que son producidas" Garrido (1998)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Según la Ley de Gestión Integral de la Basura de la República Bolivariana de Venezuela (2010), residuo sólido se define como aquel material que sobra de las actividades humanas. La conceptualización de esta definición dependerá exclusivamente de quien la utilice o en donde se maneje, en vista del uso y valor que le den al material desechado, después de alguna actividad realizada.

2.1.2 Residuos forestales

Según el Centro de Energías Renovables-CER (2011), y Colemer y Gallardo (2007) los residuos forestales se encuentran inmersos en la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón. De estas actividades se obtienen distintos tipos de residuos tales como corteza, corcho, serrín, virutas y recortes de madera.

El Centro de Energías Renovables- CER (2011), en su Manual de Energías Renovables describe los residuos forestales según la Clasificación Industrial Estandarizada (SIC del inglés) de residuos sólidos, que establece las fuentes y tipos de residuos industriales. De esta manera, bajo el código 24 se encuentra el grupo correspondiente a la madera y los productos de madera, donde los procesos generadores del residuo son: aserraderos, maquinaria de planta, contenedores de madera, productos misceláneos de madera y fabricación. Dentro de los residuos esperados se tienen madera no útil, viruta, serrín; en

Licencia Creative Commons:

algunas oportunidades se incorporan metales, plásticos, fibras, pegamentos, selladores, pinturas, disolventes.

Velázquez (2006), define los residuos forestales como aquellos residuos que se obtienen durante el aprovechamiento forestal, como son hojas y ramas finas. Para el grupo Bera (2008), los residuos forestales son aquellos que provienen de restos de árboles: hojas, ramas, fustes maderables que quedan en la superficie después del aprovechamiento.

Adicionalmente se tienen los residuos de madera de las industrias forestales como astillas, aserrín, virutas y costaneras, entre otros, que constituyen el sobrante del proceso de manufactura de la madera a nivel industrial. Para Camps y Marcos (2008), los residuos forestales son aquellos que provienen de los trabajos silvícolas más los residuos que proceden de las industrias forestales, bien sean de primera o segunda transformación.

2.1.3 Biomasa

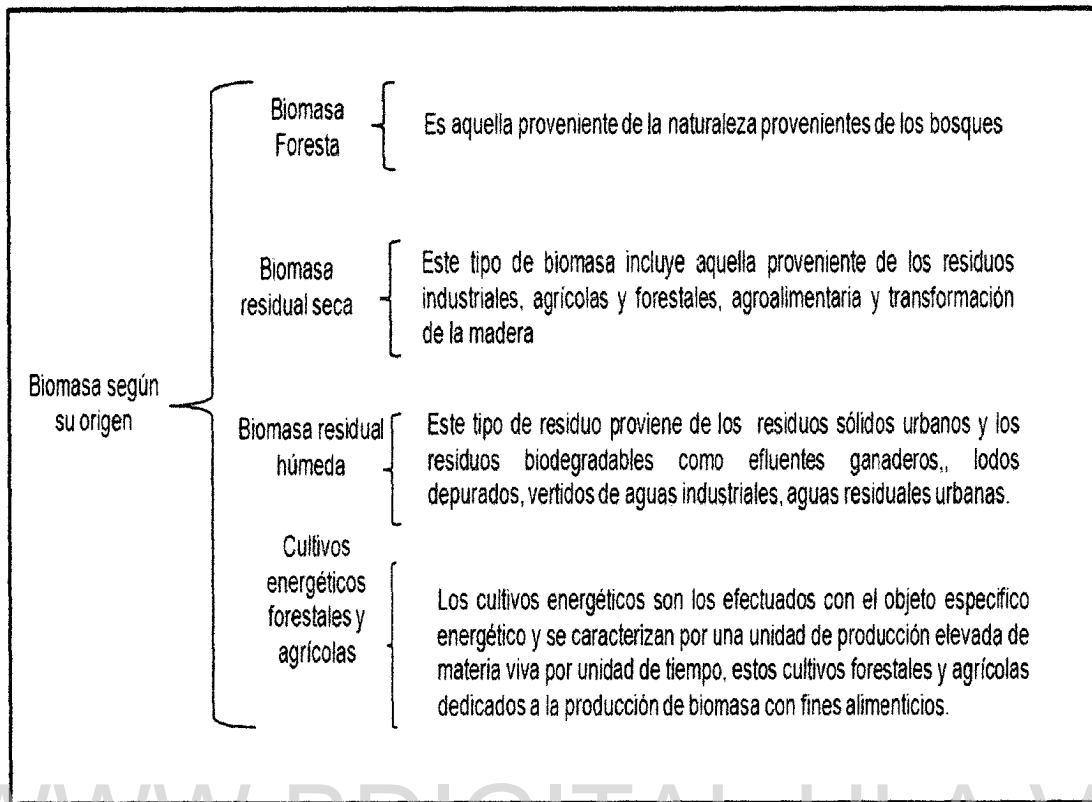
La biomasa es toda aquella fracción biodegradable que proviene de plantas, árboles y desechos que pueden ser transformados en energía, procedentes de actividades agrícolas, silvicultura e industrias conexas (incluyendo aquellos de origen animal), así como la fracción biodegradable de los residuos industriales (transformación de la madera) y municipales (residuos orgánicos, aguas residuales). Por sus características físico-químicas y caloríficas, la biomasa puede ser una materia prima para la producción de energía (calor y electricidad). De hecho, Pinheiro (2005), define la **biomasa** desde el punto de vista energético como materia orgánica, de origen animal o vegetal, que puede utilizarse para producir energía de forma indirecta, pasando de energía solar a energía química a través del proceso de fotosíntesis.

De igual manera, otros autores como, García (2010) argumentan que la biomasa es la materia orgánica producida por el proceso de fotosíntesis, en los procesos de transformación de la materia orgánica, que pueden ser biomasa primaria como obtenida en los procesos o biomasa secundaria obtenida por actividades antrópicas (forestal, agrícola e industrial); y se puede aprovechar para la generación de energía

Cabello (2006) y Enersilva (2007), clasifican la biomasa según su origen y como fuente de producción de energía, tal como se muestra en la Figura 2.1

Estrada, Morán, y Gómez (2006), definen el concepto de biomasa como la parte biodegradable de los desechos originados por las actividades agrícola, selvicultura e industrial Argumentan dos tipos de biomasa: la primaria constituida por diferentes residuos permanentes: limpieza, tala forestal, cultivos agrícolas y cultivos energéticos; y la secundaria cuantifica el potencial aprovechable una vez descontado del potencial total de aquella biomasa que no presenta las características óptimas para su aprovechamiento tales como contenido de humedad y bajo poder calorífico, entre otros.

Licencia Creative Commons:



Fuente. Elaboración propia a partir de Enersilva (2007)

Figura 2.1- Clasificación de biomasa según su origen

Otros autores, como el grupo Bera (2003), clasifican la biomasa de acuerdo a su composición química y biológica como se observa en la siguiente Figura 2.2

2.1.3.1 Biomasa forestal En lo concerniente a esta investigación, Gómez (2008) se refieren a la biomasa forestal como el aprovechamiento energético de los residuos forestales que quedan de un tratamiento o una corta, ya sea la materia prima para su transformación como madera o la masa residual para biocombustible. La biomasa forestal proviene de diferentes fuentes, tales como residuos de explotaciones forestales aserraderos, industrias de tableros y aplicaciones de segunda transformación; generalmente tienen buena calidad energética, como poder calorífico alto, alta densidad y humedad baja. La biomasa forestal contiene carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, presentando un alto potencial para la combustión que puede ser ofrecido en forma de calor y energía.

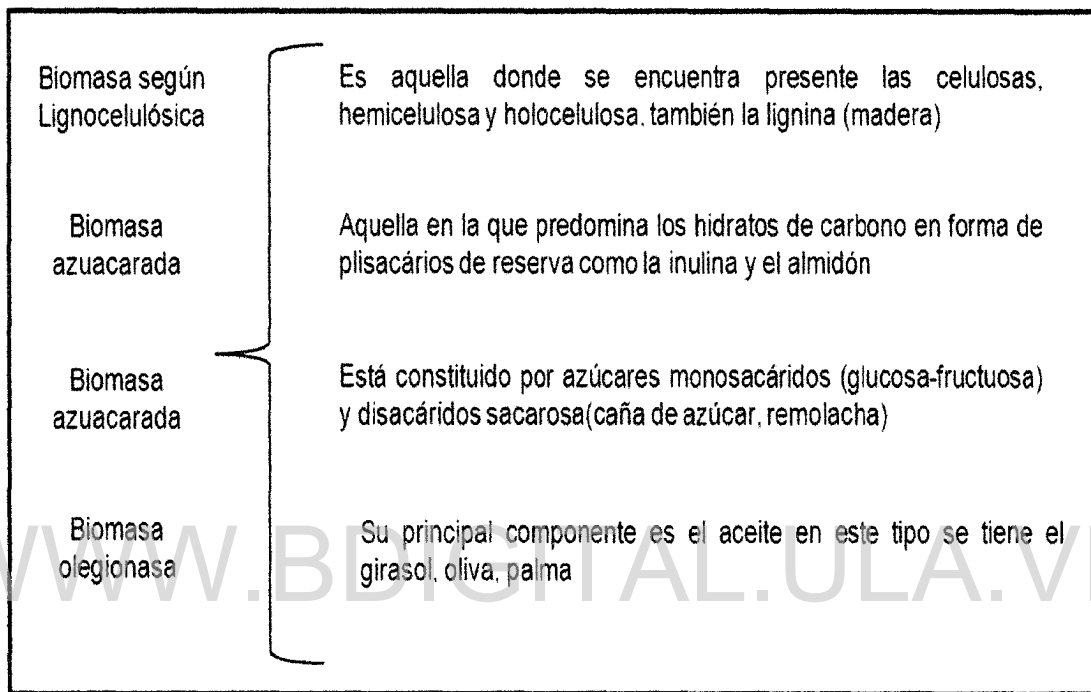
De manera similar, para Pontt (2008), la biomasa forestal se genera de las siguientes fuentes:

- Desechos forestales: provenientes de plantaciones de pino y eucalipto, desechos madereros

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Desechos madereros: son aquellos originados por las industrias madereras, y son denominados residuos aprovechables energéticamente; dentro de estos residuos se tienen: serrín, viruta, corteza.



Fuente. Elaboración propia a partir de Bera (2008)

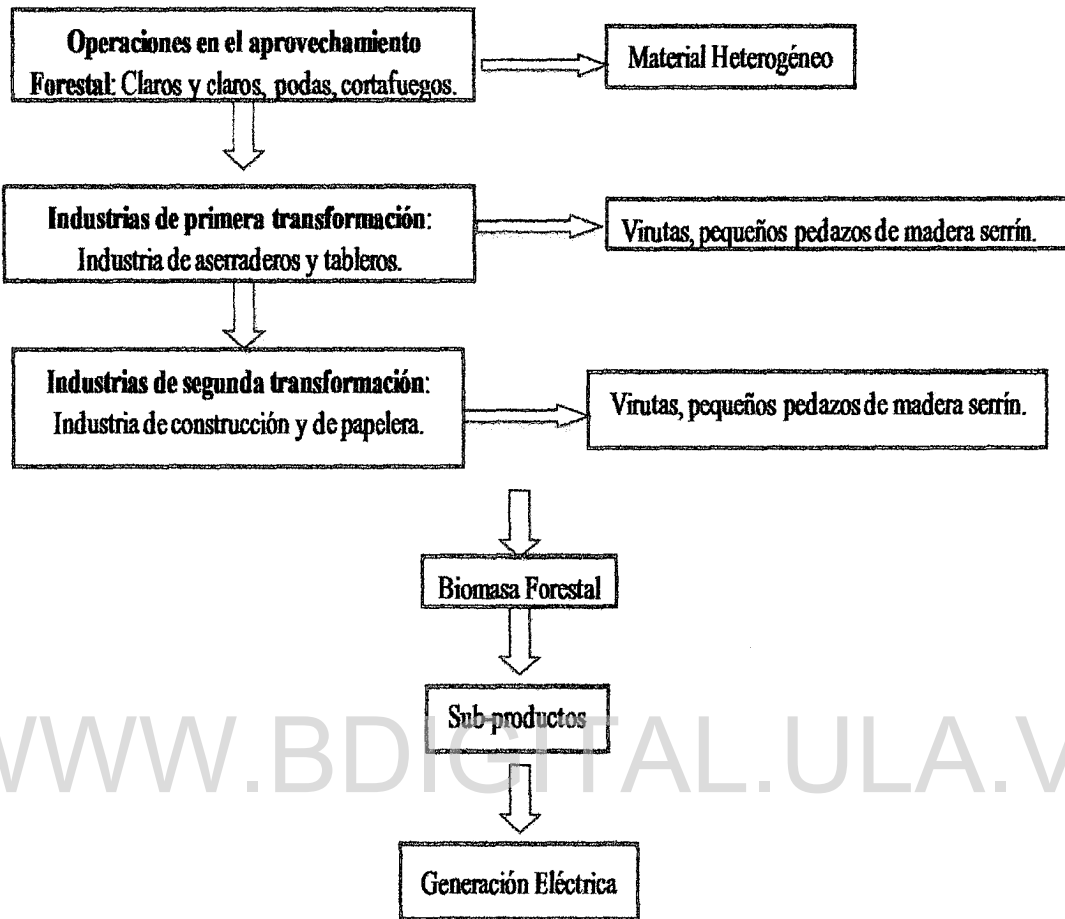
Figura 2.2- Clasificación de la biomasa de acuerdo a su composición.

Velázquez (2006), define la biomasa forestal como aquella que se “genera en el monte” y puede ser aprovechada por la industria maderera como materia prima y combustible; y, propone la cadena de aprovechamiento de los residuos forestales, como se muestra en la Figura 2.2.

2.1.4 Energía. Es aquella que se encuentra relacionada con las distintas transformaciones que se dan en la naturaleza, manifestándose cambios físicos y químicos. Dentro de las fuentes de energía se tienen las renovables, siendo estas las que se pueden regenerar de manera natural. Estrada y otros (2006), describen las fuentes de energía renovable de origen no fósil como aquellas provenientes de: energía eólica, geotérmica, solar, hidráulica, biomasa, mareomotriz e hidráulica, biogás, consideradas en la actualidad como energías alternativas.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Fuente. Elaboración propia a partir de Velázquez (2006)
 Figura 2.3- Biomasa como fuente de producción de energía

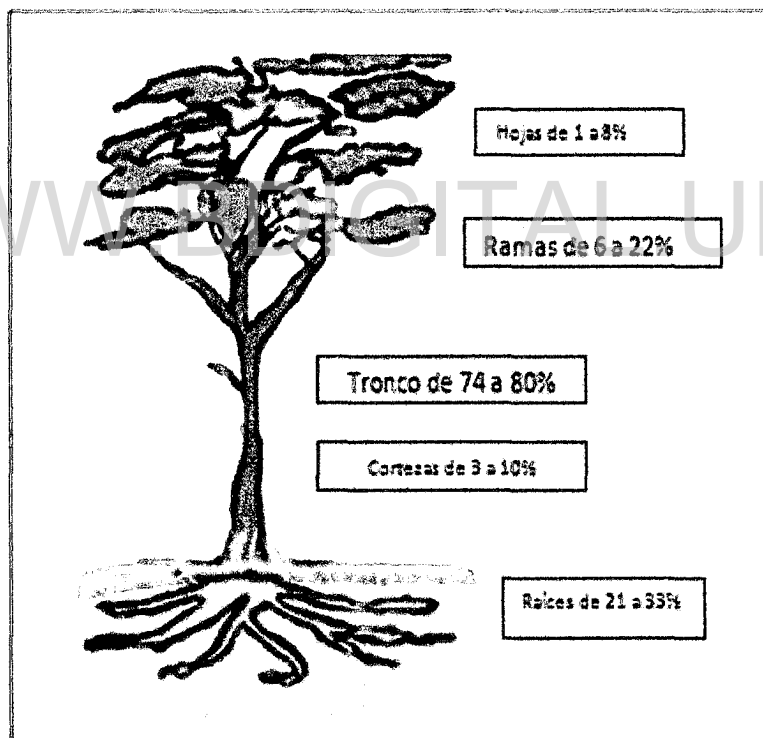
2.1.4.1 Energía de la Biomasa

Camps y Marcos (2008) describe la energía de la biomasa como aquella proveniente de la energía solar, la cual es producto del proceso de fotosíntesis, y luego de los procesos de conversión se transforma en energía química que se acumula en los compuestos orgánicos. Estos mismos autores explican que la energía de la biomasa es autóctona, ya que no depende de otros países en su fase de obtención siendo una energía renovable proveniente del sol. Estos investigadores parten de los datos de otros autores para calcular la cantidad de biomasa que se produce en la tierra, como resultado de esto se pone de manifiesto la importancia de los bosques y montes como los principales productores de aproximadamente 75.500 millones de toneladas de biomasa.

Para Cabello (2006), la biomasa energética está definida como aquella que incluye los elementos biológicos que no sean utilizados para alimentación, quedando por fuera los productos agrícolas destinados al consumo humano. Algunos autores como Nogués y

Royo (2002), hacen énfasis en la importancia que tiene la biomasa desde el punto de vista energético, esta se convierte en una energía importante, un kilogramo de biomasa puede llegar a generar 3.500 kcal comprándolo con un litro de gasolina que tiene 10.000 kcal, es decir que aproximadamente cada tres kilogramos de biomasa se generarían un litro de gasolina.

Relacionado con esta investigación, la biomasa forestal es una fuente de energía poco explotada. Según el Manual sobre energías renovables propuesto por la Fundación Red de energía- BUN-CA (2002), se considera de cada árbol se extrae para la producción maderera, sólo se aprovecha un aproximado de 20% y se estima que el 40% es dejado en campo en las ramas y raíces, y el otro 40% se queda en el proceso de transformación de la madera quedando en forma de astillas, cortezas y serrín. El 80 % de la biomasa forestal, de la cual se puede obtener un producto no se utiliza de manera amigable con el ambiente. En la Figura 2.4 se observa la distribución energética de un árbol.



Fuente. Fundación Red de Energía (BUN-CA) (2002)
Figura 2.4- Distribución energética de un árbol

Para Gómez (2008), la energía asociada con la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso o el poder calorífico obtenido después del tratamiento. Estos autores presentan ejemplos de valores caloríficos de algunos productos, como se puede observar en la Tabla 2.1 donde se muestra los valores del contenido de humedad (H) en porcentaje) y poder calorífico (PCI kJ/kg)

Tabla 2.2- Características físicas y químicas de combustibles sólidos
Características de los biocombustibles

Aspectos	Características	Unidades
Físicas	Forma	
	Aspecto (color, brillo)	
	Densidad	Kg/m ³
	Peso del estéreo	Kg/estéreo
	Humedades	%
	Superficie específica	Cm ² /m ³
	Porcentaje de corteza	%
	Friabilidad	Índices
	Resistencia a la compresión	Kg/ cm ²
	Composición química elemental.	%
	Composición química de gases de escape.	%
	Poderes caloríficos	KJ/kg, Kcal/kg
Químicas	Composición química por compuestos	%
	Coefficiente de conductividad térmica.	W/ms
	Combustibilidad: temperatura y tiempos de combustión.	°C. s
	Inflamabilidad: temperatura y tiempo de inflación	°C. s, °C
Fisicoquímicas	Potencia calorífica	W/s
	Densidad energética y energía estéreo.	KJ/m ³ , KJ/est

Fuente. Camps y Marcos (2008)

Humedad: Es la cantidad de agua presente en los combustibles que serán utilizados para la generación de energía eléctrica, y se expresa como sigue.

$$H = (w-d) w^{-1} * 100 \quad (2.1)$$

Donde

H= Contenido de humedad (%)

W= Peso inicial de la muestra según se entrega (Kg)

d= Peso de muestra después de secarse 105°C (kg)

En la Tabla 2.3 que se muestra a continuación se observan los valores correspondientes a peso específico y humedad de algunos residuos forestales

Tabla 2.3- Peso específico y contenido de humedad de los residuos forestales

Peso específico y contenido de humedad de los residuos forestales				
Residuos industriales	Peso Específico(Kg/m ³)		Contenido de humedad % en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Serrín	101-350	201	30-40	20
Madera Mezclada	400-676	498	30-60	25
Maderas Duras	-	-	-	-

Fuente. Tchobanoglous y otros (1997)

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla 2.1- Poder calorífico de algunos elementos en función a su contenido de humedad

Poder calorífico de algunos elementos en función a su contenido de humedad						
Producto	H (%)	PCI (Kj/Kg)	H (%)	PCI (Kj/Kg)	H (%)	PCI (Kj/Kg)
Leñas y ramas forestales	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Cortezas frondosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
Vid (Sarmientos)	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Vid (Ramilla de uva)	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Vid (Orujo de uva)	0	18.894	25	13.543	50	8.193

Fuente Gómez (2008)

Camps y Marcos (2008), definen las características físicas y químicas que describen a un combustible y las unidades en que se miden, a partir del trabajo "Normalización de biocombustibles sólidos" tal como se muestra en la Tabla 2.2

En el caso de la biomasa forestal, existen ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas, que van a influir de manera directa en el potencial calorífico de estos elementos por lo tanto, es importante describir algunas de estas características para conocer la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética. Conociendo estas características se puede llegar a determinar qué tipo de subproducto se pueden obtener y qué tipo de tratamiento previo sería necesario aplicar. Colomer y Gallardo (2007) describen las siguientes propiedades físicas: peso específico, humedad y poder calorífico.

Peso específico: definido como el peso de un material por unidad de volumen (kg/m^3), también se le denomina densidad, y dependerá del grado de compactación del material. En el caso de la biomasa forestal, el peso específico está definido por la masa y el volumen de los residuos, los cuales varían de acuerdo a la localización geográfica, clima y tiempo de almacenamiento, entre otros. Los valores del peso específico son necesarios para valorar la masa y el volumen de los residuos que van a ser gestionados Tchobanaglou, Theisen y Vigil (1997).

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La Fundación Red de Energía-BUN-CA (2002) explican que las características físicas están determinadas por la humedad relativa (HR) de la biomasa forestal y se define según el tipo de residuo forestal, en un estado típico de la biomasa tal como se muestra en la Tabla 2.4. Sin embargo enfatizan que la humedad debe estar por debajo del 40%, cuando está por encima se deben implementar el acondicionamiento necesario antes de ingresar el material al proceso de conversión de energía Tabla 2.5 se muestran el estado típico de la biomasa.

Tabla 2.4. Estado típicos de la biomasa

Estados de típicos de la biomasa		
Recurso de la biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
	Restos de aserraderos: Virutas, serrín y astillas.	Polvo Sólido HR>50%
	Restos de ebanistería: serrín, astillas, trozos.	Polvo Sólido HR entre 30 -45%
Residuos forestales	Restos de plantaciones: ramas, cortezas, raíces	Sólido HR >55%

Fuente. Fundación Red de Energía (BUN-CA) (2002)

Otra de las propiedades físicas de la biomasa es el poder calorífico de un combustible expresa la cantidad de energía liberada durante la combustión completa de una unidad de masa del combustible. En el caso de la madera se determina en función del tipo de combustible investigación se tomaron como referencia el valor calórico medio y superior de madera seca, aserrín húmedo, viruta seca y corteza de pino referido por Valter y Antonini (2008).

Las propiedades químicas se definen sobre la base de un análisis físico, punto de fusión de las cenizas, y análisis elemental de los componentes como: tamaño de las partículas y el contenido energético, para definir si los residuos que pueden ser utilizados como combustibles o no combustibles.

- **Análisis físico:** está constituido por humedad, materia volátil combustible, carbono fijo, ceniza.

Análisis de los componentes de los residuos sólidos: La composición química de los residuos se calcula en función del porcentaje de oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, carbón y ceniza.

- **Contenido energético:** conocer el poder calorífico sirve para saber cuál puede ser la energía que se puede obtener de los mismos. El contenido calórico determina la energía contenida en la biomasa y está relacionado directamente con la humedad. En la Tabla 2.5 se observan los valores correspondientes al contenido energético de algunos residuos forestales.
- **Tamaño de las partículas.** La granulometría de las partículas varía en función del tipo de residuo, y los tamaños oscilan desde 1cm hasta 10 cm de longitud.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla 2.5- Contenido energético de los residuos forestales y porcentaje en peso base seca

Contenido energético y porcentaje base seca de los residuos forestales								
Residuos Forestales	Contenido energético(kcal Kg ⁻¹)		Porcentaje en peso base seca					
	Residuo recogido	Residuo seco	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Cenizas
Madera Mezclada	3.689	4.620	49,6	6,1	42,7	0,1	<0,1	0,9
Maderas Duras	4.084	4.641	49,5		43,2	0,2	<0,1	1,5
Viruta de madera	-	-	48,1	5,8	45,5	0,1	<0,1	0,4

Fuente.Tchobanaglouy y otros (1997)

Las propiedades biológicas: En función de los contenidos de materia orgánica los residuos se clasifican en: constituyentes solubles de agua, hemicelulosa, celulosa, lignina, grasas, aceites, lignocelulosa y proteínas. Por ejemplo, para el grupo Bera (2003), los biocombustibles sólidos son aquellos donde se encuentra presente hemicelulosa, holocelulosa y lignina, y fundamentalmente se destinan a la generación de electricidad.

Anteriormente se describieron las características químicas y biológicas de los residuos también es importante hacer mención a otros aspectos que se deben tomar en consideración como pasos previos a la hora de proponer generar energía a partir de residuos forestales como son los criterios preliminares y los criterios de gestión que se consideraron en esta investigación. Estos criterios se tomaron como referencia del estudio realizado por Sogis Corp, The Pemina, Instituto Tecnológico de El Salto y The Pemina Institute Basis Company (2010).

2.1.4.2 Aplicaciones energéticas de la biomasa

La biomasa se puede utilizar desde el punto de vista energético para distintas aplicaciones, dentro de las cuales Castaño (2010) y Nogués y Royo (2002) y mencionan las siguientes:

Generación de energía térmica: se obtiene a partir del aprovechamiento de la biomasa sólida a través de un proceso de combustión que sirve para generar calor y vapor, y ser utilizado para generar calefacción y cocción o como un subproducto para la generación de electricidad en ciclos de co-generación combinados de electricidad y vapor. En la industria suele utilizarse el calor generado por la biomasa en el proceso de secado de los productos agrícolas y la producción de cal y ladrillos.

Generación de energía eléctrica: la producción de energía se da en función del tipo y la cantidad de biomasa disponible, lo cual a su vez determinará el tipo de tecnología a utilizar. A partir de la biomasa se puede generar electricidad como energía verde,

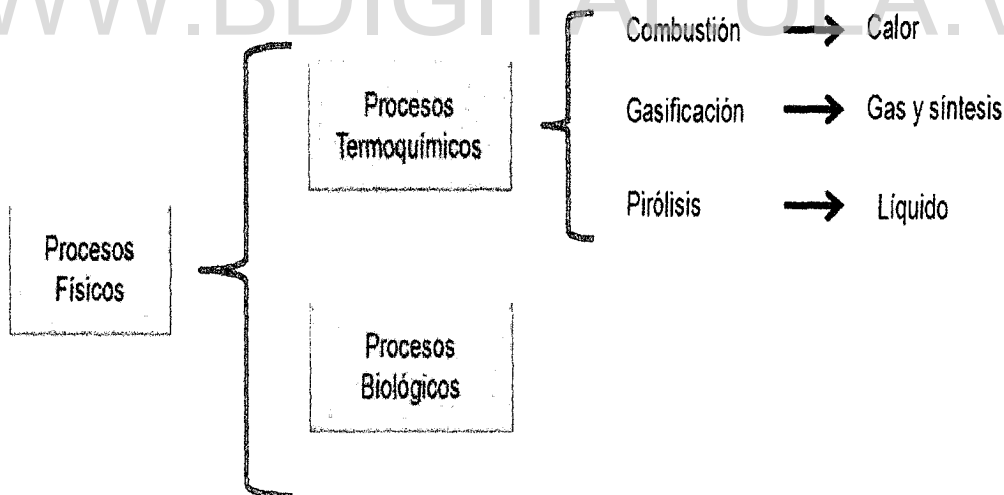
disminuyendo el efecto invernadero por estar libre de emisiones de dióxido de carbono (CO₂). En los países industrializados la energía proveniente de la biomasa es utilizada para la red eléctrica interconectada.

Combustible gaseoso: en los procesos anaeróbicos o gasificación se puede producir biogás que puede ser usado en motores de combustión interna para la generación de electricidad.

Biocombustibles: la generación de biocombustibles como el etanol y el biodiesel sirven para reemplazar los combustibles fósiles.

2.1.5 Procesos de conversión de la biomasa en energía

Jiménez y Gómez (1991) hacen énfasis que para la generación de energía a partir de biomasa forestal se debe partir de transformaciones físicas como fragmentación, secado y compactación; seguidas de procesos de conversión biológicos o termoquímicos como pirólisis, gasificación y combustión, que varían de acuerdo a la materia prima que se utilice y el producto final que se desea obtener, tal como se muestra en la Figura 2.5



Fuente. Manual sobre energía renovable (2002)

Figura 2.5- Procesos de conversión

Tchobanaglou y otros (1997) y Enersilva (2007), definen los procesos termoquímicos como aquellos que utilizan calor para la conversión de los residuos sólidos en productos gaseosos, líquidos y sólidos, paralelo a la emisión de energía en forma de calor, y los procesos biológicos como aquellos en donde los microorganismos que se encargan de degradar las moléculas son los generadores de la energía. En la Tabla 2.6 se presenta un resumen de estos procesos de transformación de la biomasa, algunos de los cuales serán descritos con detalle más adelante.

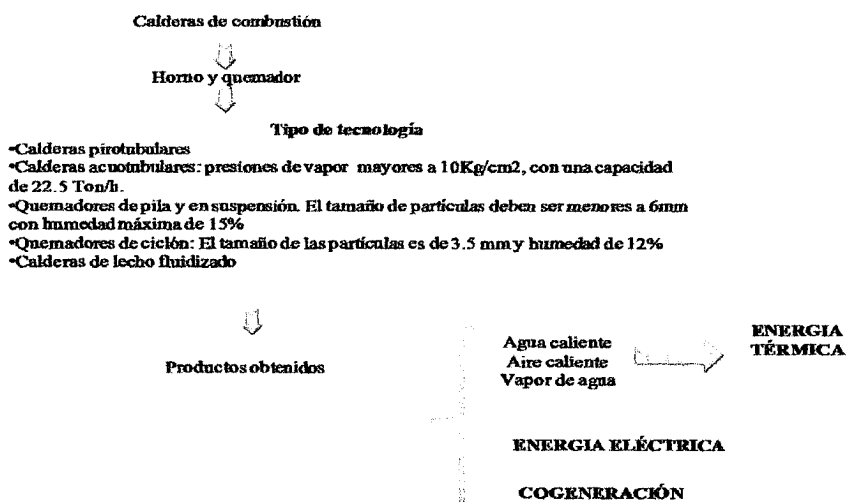
Tabla 2.6- Procesos de transformación de la biomasa

Procesos de conversión de la biomasa	
Procesos Termoquímicos	Procesos Biológicos
Combustión. La biomasa es sometida a altas temperaturas con exceso de oxígeno. Es apropiado para la producción de calor industrial y generación de energía eléctrica.	Fermentación alcohólica. Es aquella utilizada para producir etanol
Pirolisis. La biomasa se somete a temperaturas de 500°C sin presencia de oxígeno. Es usado para producir carbón vegetal y obtener combustibles fósiles.	La digestión anaeróbica de la biomasa. Este proceso es para producir metano.
Gasificación. En este caso la biomasa se somete a altas temperaturas con cantidades limitadas de oxígeno para alcanzar una combustión. Para la obtención de gas que puede ser transformado en combustible líquido. Monreal (2008), la relaciona con la cogeneración.	

Fuente. Elaboración propia a partir de Enersilva (2007)

Dentro de los procesos de conversión termoquímica se tienen combustión, gasificación y pirolisis. Es importante enfatizar que cada uno de ellos maneja distintos sistemas de transformación para obtener energía a partir de biomasa forestal. A continuación se presenta la descripción de los procesos:

2.1.5.1. Combustión. Thobanoglous y otros (1997) definen la combustión como el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con excesos de oxígeno, para dar origen a dos tipos de productos: los gaseosos, conocidos como gases calientes de combustión, y los sólidos. Una de las ventajas de estos procesos es la reducción en los costos de inversión y operación de equipamiento para el control de las emisiones atmosféricas. El proceso de combustión se basa en la recuperación de calor, y se esquematiza en la Figura 2.6. La planta de combustión de biomasa está constituida por los siguientes sistemas: almacenamiento del combustible, transporte del combustible al equipo de combustión, equipos y cámara de combustión, caldera, recuperación de auxiliares de calor, depuración de gases, extracción de cenizas. En este sistema existen distintas tecnologías o equipos para llevar a cabo la combustión de la biomasa como son los quemadores en pila y quemadores en suspensión, que serán descritos más adelante.



Fuente. Elaboración propia a partir de Masera, Aguillón y Gámino (2005)

Figura 2.6. Proceso de Combustión Directa

Durante el proceso se genera calor que puede ser utilizado directamente como energía térmica o puede ser procesado para generar energía eléctrica. En este sentido, Nogues y Royo (2002) hace mención a las distintas tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa para la generación eléctrica mediante el uso de calderas y expandiendo el vapor generado en turbinas de vapor (Ciclo de Rankine). Gómez (2008), las resume en la Tabla 2.7.

De esta manera el gas resultante de la combustión circula a través de un intercambiador de calor, así permite la transferencia de energía calorífica del gas al agua circulante de la caldera. El agua caliente puede ser para uso humano o sanitario. Por otra parte, a partir del contacto del gas de combustión con tubos de agua circulante, se genera vapor a elevadas temperaturas y presión. En la turbina, la expansión de vapor a través de las hélices genera energía mecánica. El movimiento circular acciona un alternador que genera la corriente eléctrica. Según el CER de Chile, las potencias disponibles para motores alternativos van desde 50 kWe a 1Mwe y las turbinas van de 0,5 Mwe a 500 Mwe.

Tabla 2.7- Tecnologías para el aprovechamiento energético

Tecnologías de aprovechamiento energético		
Tecnología	Biomasa	Tamaño
Ciclo de vapor	Sólida	4 Mwe
Turbina de gas	Gas síntesis	> 1 Mwe
Ciclo combinado	Gas síntesis	> 10 Mwe
Motor alternativo	Gas síntesis o biogás	> 50 kwe

Fuente. Gómez (2008)

Otra tecnología que se utiliza para la generación de energía, según Gómez (2008), es la cogeneración que tiene la capacidad de generar energía eléctrica y térmica a partir de un mismo combustible. Este se basa en el aprovechamiento del gas procedente de una turbina de vapor. La energía térmica se obtiene a partir de un condensador del vapor de la turbina de agua caliente que genera un intercambio de calor.

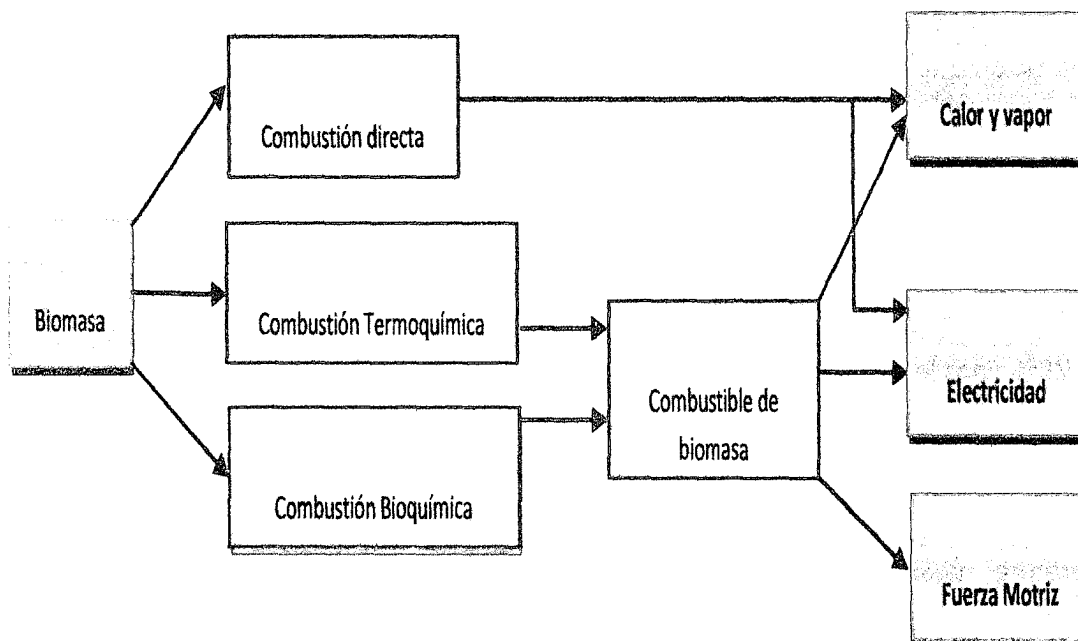
Según el Centro de Energías Renovables CER en Chile, la combustión directa de la biomasa específicamente madera, tiene un rango de potencia menor a 100Mw con una eficiencia de conversión se encuentra entre 15 a 38% para generación de electricidad y sobre 70% para la generación de energía térmica.

2.1.5.2 Gasificación Barreto, Batalla, Ferraro, García, Peña (2010), definen la gasificación como un proceso de combustión de elementos químicos, el cual consiste en la reacción exotérmica de los mismos más el oxígeno y depende de ciertos parámetros como estado, temperatura, dosificación de la mezcla, turbulencia y tiempo. Es el sistema más evolucionado, se gasifica la biomasa, para obtener un gas combustible. El proceso de gasificación engloba la descomposición de un biocombustible y la acción de un gas: La gasificación puede hacerse con aire, oxígeno, hidrógeno, vapor de agua.

Para estos autores una planta de gasificación esta constituida como una planta de combustión sustituyendo la caldera por el gasificador y el sistema de limpieza del gas. En este sistema existen tecnologías o equipos de gasificación como son los gasificadores de lecho fijo de corriente ascendente o descendente y gasificadores de lecho fluidizado, que serán descritos más adelante. En función de las características del combustible y del destino del gas se escoge el tipo de tecnología.

Para Tchobanaglou y otros (1997) la gasificación se define como la combustión parcial de los residuos sólidos para generar gas que contiene monóxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos gaseosos. Estos autores describen el proceso de gasificación como una técnica energéticamente eficaz para reducir los residuos sólidos y recuperar energía, este proceso implica la combustión del carbono para generar combustible con altos contenidos de monóxido de carbono, hidrógeno. En el caso de la madera, está constituida por materiales orgánicos, teniendo como elementos el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, los cuales se descomponen por la acción del calor, convirtiéndose en productos volátiles y en carbonos fijos. El gas se puede quemar en turbinas de gas y motores de combustión interna para generar calor y electricidad.

Según Martínez (2009), el gas puede ser obtenido por dos métodos: gasificación bioquímica (producción de biogás) y la gasificación termoquímica, esta última produce un cambio en la estructura química de la materia orgánica, esto sucede al sufrir reacciones por altas temperaturas, de este proceso se obtiene gas combustible y una fracción líquida (alquitrán y aceites). La calidad del gas dependerá del agente gasificador y del lecho utilizado En la Figura 2.7. Este autor sintetiza las aplicaciones del gas obtenido en el proceso de gasificación reflejando los porcentajes de electricidad generados.



Fuente. Martínez, (2009)

Figura 2.7. Aplicaciones del gas proveniente del proceso de gasificación

2.1.5.3 Pirólisis González (2009), define la pirólisis como un proceso que se realiza calentando la biomasa en ausencia de aire, siendo este el método más antiguo para procesar el combustible, con el objetivo de obtener mayores valores de potencia calorífica y densidad energética. Para autores como Tchobanaglou y otros (1997) la pirólisis es un proceso endotérmico que requiere una fuente externa de calor, que produce los siguientes componentes: Una corriente de gas que contiene, según el material pirolizado, los siguientes elementos hidrógeno, metano, monóxido de carbono. Una fracción líquida que contiene ácido acético, acetona y metanol, y puede usarse como aceite combustible.

González (2009), describe el proceso de pirolisis como aquel donde se calienta la biomasa primaria a una temperatura de 300 a 500 °C, con el objetivo de eliminar los materiales volátiles, quedando una materia sólida conocida como carbón vegetal, un combustible cuya densidad de energía viene a ser el doble que la biomasa vegetal. Se requiere de 4 a 10 toneladas de biomasa para obtener 1ton de carbón vegetal. Las plantas pirolíticas trabajan con temperaturas menores de 600°C, cuando la temperatura oscila entre 100 y 120 °C se produce eliminación de humedad, cuando la temperatura alcanza los 675°C, se produce una emisión de gases nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono.

Este proceso de conversión actualmente se encuentra en fase experimental a nivel de laboratorio y en plantas piloto para identificar la cinética y los componentes desprendidos en el proceso de la pirolisis.

2.1.6. Tecnologías de aprovechamiento energético de la biomasa forestal

Para la generación de energía a partir de biomasa forestal se puede optar por distintos sistemas tecnológicos, la elección de estos dependerá mayormente, según Gómez (2008), de los recursos disponibles, características de los recursos, cantidad de biomasa disponible y el tipo de demanda energética requerida. En este sentido, cada uno de los procesos termoquímicos utiliza distintas tecnologías para la generación de energía. A continuación se describen las utilizadas en los procesos de combustión y gasificación, que son las alternativas que se manejan en este estudio.

2.1.6.1 Tecnologías de combustión:

Las tecnologías de combustión para la generación de energía pueden ser de pequeña, mediana y gran escala. Según Martínez (2009), las tecnologías a pequeña escala son aquellas utilizadas para la producción de energía térmica en hogares, para uso doméstico y la potencia generada es menor a 15 KW. En el caso de las tecnologías utilizadas a mediana escala la potencia se encuentran entre 500kW a 5Mw utilizando como tipología los hornos o quemadores en pila, el tipo de energía generada es el aire y agua caliente para uso doméstico. En el caso de las tecnologías utilizadas a gran escala, son muy similares a las que se utilizan en la generación de energía a mediana escala; solo que se incrementa la complejidad técnica de los componentes, la necesidad de combustión de biomasa y volumen de gases.

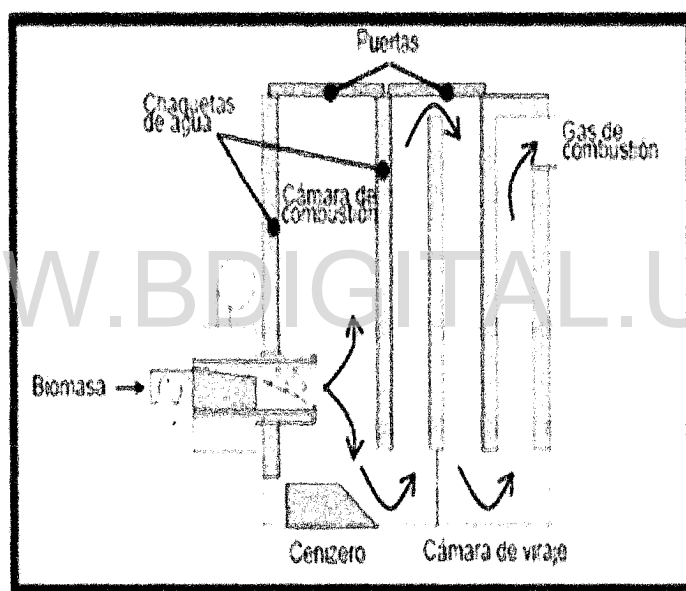
Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

La combustión es compatible con diversos combustibles de biomasa (madera, residuos vegetales) en un mismo horno.

En base a información presentada por Sogis Corp y otros (2010) y Masera, Aguilón y Gámino (2005) y Jiménez (2012), las tecnologías utilizadas en los procesos de combustión se pueden agrupar en los siguientes grupos:

- En la **Parrilla fija plana** como se observa en la Figura 2.8 la eficiencia mínima es menor al 90%, maneja residuos como astillas con un porcentaje de humedad menor al 35%. Aquí se produce vapor de agua y agua caliente que proviene de los gases que se acumulan en los tubos. Este tipo de parrilla cuenta con la posibilidad de la instalación de turbinas para la generación de electricidad



Fuente. Martínez (2009).

Figura 2.8- Parrilla fija plana

- **Quemadores en pila:** Es la tecnología más simple utilizada para la combustión directa. El combustible es insertado en la cámara de combustión en una pila, quemado, y luego se recarga. Debido a esta operación cíclica, los quemadores de pila tienen características de carga bajas y generalmente tienen una eficiencia baja oscilando entre 50% a 60%. Estos hornos pueden utilizarse para quemar combustible con un contenido de humedad de hasta un 65% independientemente del tamaño de los residuos. Se conocen como calderas de lecho fijo o parrillas y pueden ser planas, inclinadas, fijas o móviles, y sus características más resaltantes se resumen en la Tabla 2.8

Licencia Creative Commons:

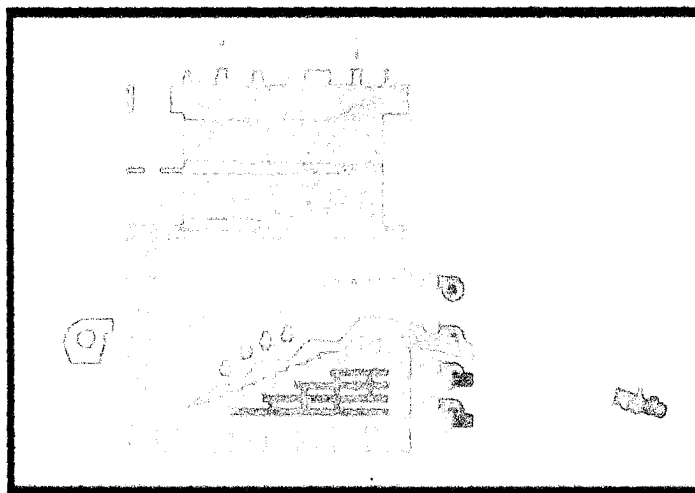
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla 2.8 -Quemadores de parrilla en los sistemas de combustión a mediana escala (500kW a 5Mw)

Quemadores de parrilla en los sistemas de combustión a mediana escala	
Tecnología	Características
Parrilla móvil con alimentación superior	Aceptación de variedad de combustibles, el contenido de humedad varía entre el 5 y 55% y la potencia igual o menor a 2Mw
Parrilla fija plana	Eficiencia de conversión a calor mínima del 90%, humedad de las astillas <35%. Los gases de combustión calientan los tubos de la caldera generando agua caliente o vapor de agua.
Parrilla inclinada (Móvil)	Favorece el desplazamiento del combustible en el hogar, Conversión de calor mínima del 90%, en condiciones de plana carga del horno y contenido de la humedad de las astillas <35%. Los gases de combustión calientan los tubos de la caldera generando agua caliente o vapor de agua
Sistemas de quema de balas de paja ("CIGAR BURNING SYSTEM")	Algunos modelos presentan trituradores de paja otros introducen las balas en cámaras cerradas produciendo una quema superficial. Alta generación de cenizas y los gases de combustión calientan los tubos de la caldera generando agua caliente o vapor de agua.

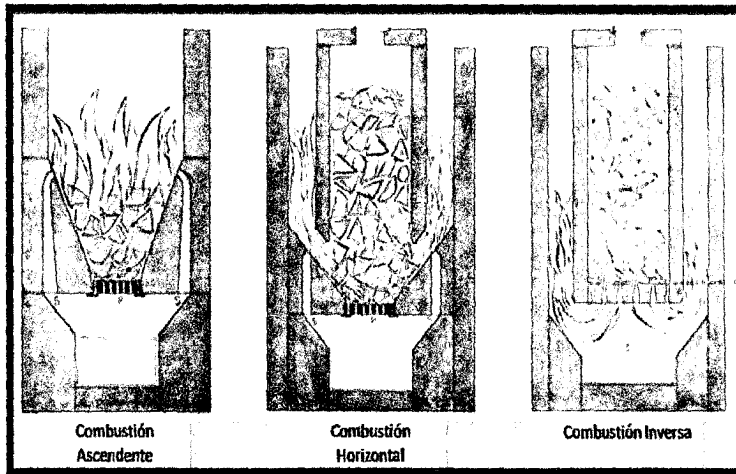
Fuente. Martínez, (2009)

Desde el punto de vista ambiental, en cuanto a las emisiones emitidas al aire, los quemadores de parrilla, sean fijas o móviles, planas o inclinadas, producen una cantidad significativa de partículas en ceniza, carbono y partículas no quemadas. Sin embargo, debido a que las temperaturas de salida del horno promedian alrededor de 980°C, los procesos de combustión pueden minimizar las emisiones de óxido de nitrógeno y las temperaturas de horno pueden mantenerse por debajo de la temperatura de deformación de la ceniza.



Fuente. Carrasco (2006)

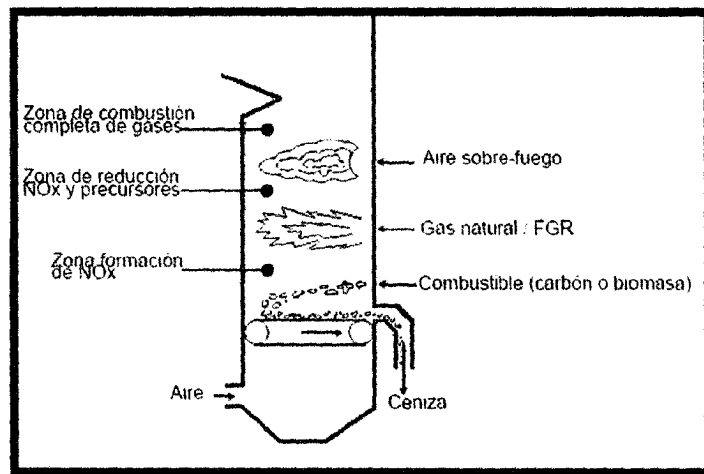
Figura 2.9- Parrilla móvil inclinada



Fuente. Adaptado de Castells (2012)

Figura 2.10- Hornos de combustión de parrilla

La parrilla móvil con alimentación superior, como la que se muestra en la Figura 2.11, maneja astillas de madera y carbón de tamaño variable. Los niveles de humedad de los combustibles oscilan entre 5 y 55%. Se instalan para potencias menores a 2W. Este tipo de tecnología aunque proporciona control y flexibilidad sobre la tasa de salida de calor, es poco utilizada.



Fuente. Martínez (2009).

Figura 2.11- Parrilla móvil con alimentación superior

Quemadores en suspensión: las tecnologías de biomasa en suspensión son de las más recientes y utilizan pequeñas partículas menores a 6mm de tamaño con un contenido máximo de 15% de humedad. Este sistema consiste en un lecho de partículas inertes, generalmente arena de sílice y alúmina a través del cual es expulsado un chorro de aire para hacer que el lecho actúe como un fluido. Los combustibles de biomasa son

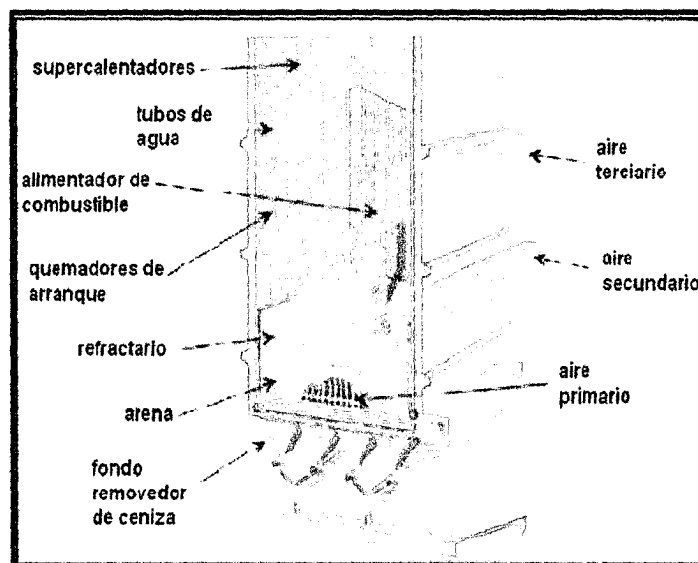
Licencia Creative Commons.

inyectados encima del lecho de partículas fluidizadas y se queman ya sea en suspensión por encima del lecho o adentro del mismo. Estas tecnologías pueden variar en tamaño encontrándose entre 20 a 25Mw llegando a una capacidad de 300Mw. Los niveles de humedad son de 55% este tipo de tecnología aunque proporciona control y flexibilidad sobre la tasa de salida de calor, es poco utilizada. Hay dos tipos de lechos fluidizados: burbujeante y circulante.

- **Lecho Fluidizado Burbujeantes (LFB).**

En este tipo de lecho el combustible permanece en una ubicación fija durante la combustión, tal como se observa en la Figura 2.12. La tecnología se puede adaptar al tipo de combustible y a los parámetros de humedad de hasta 70%. La tasa de transferencia de calor, crea condiciones de combustión constantes, lo que aumenta la calidad y eficiencia de la combustión a promedios del 99% a 100% del consumo del carbono. En cuanto a las emisiones al aire esta tecnología tiene ventajas, ya que el combustible de madera se quema, resultando una combustión más completa, por lo tanto se reduce la emisión de compuestos orgánicos. Sin embargo, los combustores de lecho fluidizados están equipados con ciclones para el control de partículas. Según Carrasco (2006) el Lecho Fluidizado Babcock Borsari Power Austrian Energy tiene una eficiencia de 92-94%, los costos de inversión son altos y no requiere sistemas de limpieza de gases.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE



Fuente. Toscano (2009)

Figura 2.12- Quemador de lecho fijo burbujeante

- **Lecho Fluidizado Circulante (LFC).**

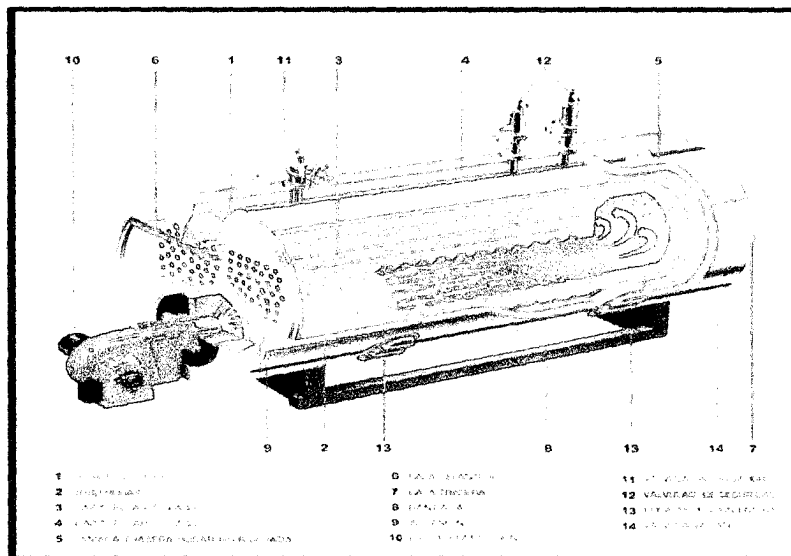
Este tipo de lecho puede generar 243 ton/hora de vapor sobrecalentado a 106 kg/cm² y 540 °C. El principio del lecho fluidizado circulante es la velocidad de la corriente

fluidizado. Este tipo de lecho presenta las siguientes características: Las partículas son dispersas y se hallan en constante movimiento, otra de las características que presenta este lecho controla las emisiones de NO_x , tiene alta eficiencia en el proceso de combustión.

Quemadores de combustible pulverizado o lecho arrastrado: El combustible se muele hasta tamaños menores de dos milímetros, y se introduce a la caldera a través de quemadores junto al aire de combustión. Las partículas se van quemando a lo largo de la caldera, y salen como gases hacia las etapas de filtrado y limpieza.

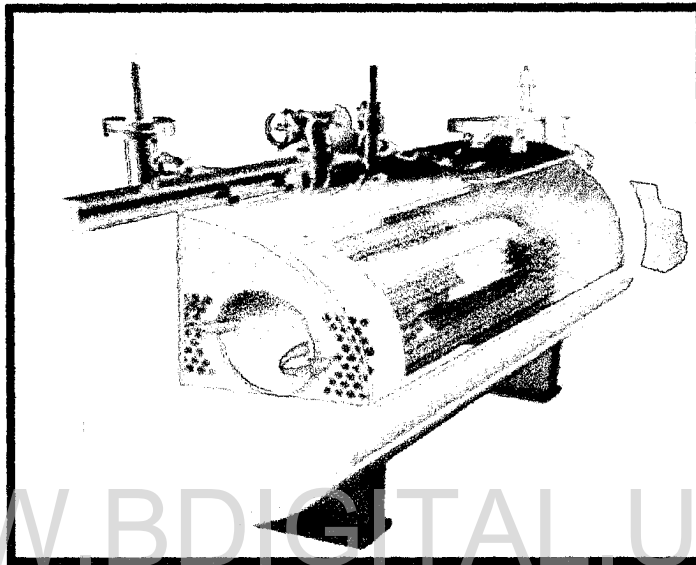
Calderas tubulares: son relativamente baratas y funcionan aprovechando el principio de los gases calientes de la combustión que pasan por tubos soldados de acero colocados como camisas exteriores que encierran la cámara de combustión, a través de la cual fluye el agua que se va a calentar. De allí se genera el vapor que será aprovechado para generación eléctrica y el agua caliente que puede ser para uso humano o sanitario. Nogues y Royo (2010) refiere que las calderas tubulares se ajustan a cualquiera sea el equipo de combustión utilizado (quemadores en pila o en suspensión)

Calderas piro-tubulares: Se emplean principalmente cuando se necesitan presiones de vapor de no más de 20 kg/cm^2 en operaciones pequeñas o medianas. Son relativamente baratas y funcionan aprovechando el principio de los gases calientes de la combustión que pasan por tubos de acero colocados en camisas exteriores de agua. Con una capacidad de vapor inferior a 22.5 ton/h . Dentro de otras características que presentan este tipo de calderas es que pueden funcionar con salinidad del agua, puede aprovechar el control de quemador; si la carga está por debajo de la requerida la caldera se apaga automáticamente. Ver Figura 2.1



Fuente. Toscano (2009)
 Figura 2.13- Calderas piro-tubulares

Calderas acuotubulares: Constan de tubos soldados de tal suerte que constituyen paredes completas que encierran la cámara de combustión, a través de la cual fluye el agua que se va a calentar. Con una capacidad de vapor inferior a 22.5 ton/h. Figura 2.14. Noguez y Royo (2010), refiere que la combustión se ajusta a cualquiera de las dos calderas, especificando la combustión en parrilla, combustión lecho fluidizado y la combustión en suspensión. Este tipo de caldera es más exigente, es necesario que el agua tenga menos niveles de salinidad, en cuanto al quemador no puede apagarse manualmente, por lo tanto en algunos diseños debe limitarse la carga parcial.



Fuente. Toscano (2009)
Figura 2.14. Calderas acuotubulares

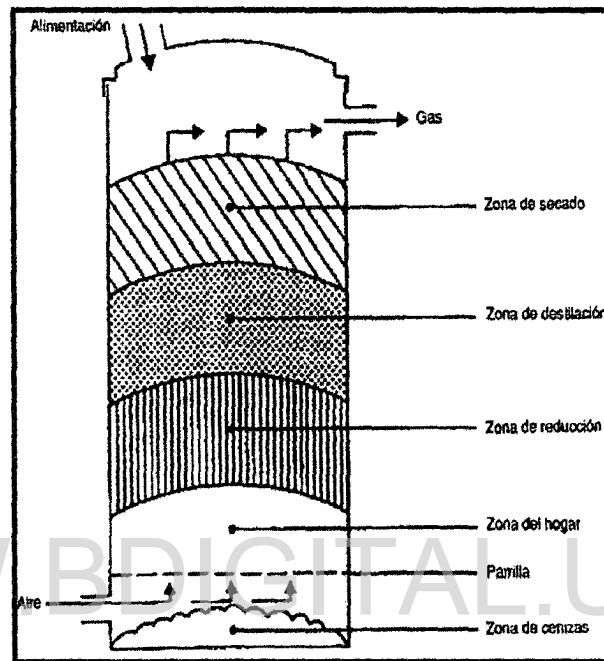
Quemadores de ciclón: Quemar las partículas finas en suspensión, tamaño máximo de partículas en el orden de 3.5 mm y con un 12 por ciento de contenido de humedad, se somete a combustión en un quemador externo de ciclón

2.1.6.2. Tecnologías de gasificación. La biomasa que se utiliza en el proceso de gasificación debe tener un tamaño de partículas no menor a 2-3mm, y el porcentaje de humedad entre 10 y 15% aproximadamente. Dentro de las tecnologías de gasificación se tienen las siguientes:

Lecho fijo: este tipo de tecnología es sencilla y los costos de operación son bajos. Los gasificadores de lecho fijo pueden llegar a manejar cualquier tipo de residuo. Sin embargo, son generalmente utilizados a gran escala. Se tienen dos tipos de gasificadores de lecho fijo: de corriente ascendente y de corriente descendente.

- **Gasificadores de lecho fijo de corriente ascendente o tiro directo (Updraft).** este tipo de gasificador tiene un rango menor a 10 Mw, maneja los niveles de humedad hasta un 55%. Este tipo de gasificador producen altos niveles de alquitrán lo que trae como consecuencia un aumento en los costos asociados a la limpieza del gas síntesis. Funciona con varios tipos de combustible.

- **Gasificadores de lecho fijo de corrientes descendentes.** En este tipo de gasificador el agente gasificante fluye hacia abajo a través del lecho de combustible. Tiene una capacidad menor a 2MW. La generación de alquitranes y la generación de partículas son bajas, pero el gas síntesis tiene bajo contenido de energía.



Fuente. Sogis y otros(2010)
Figura. 2.15- Gasificadores de lecho fijo de corriente ascendente o tiro directo (Updraft).

Gasificador de lecho fluidizado: Es una de las tecnologías más eficientes, tienen buena flexibilidad sobre el tipo de residuo el cual debe tener una humedad que oscile entre 5 y 10%, los contenidos de alquitranes son bajos y las cenizas que se generan son fáciles de manejar. Dentro este tipo de tecnología es la más común, dentro de esta se tienen el gasificador de lecho fluidizado circulante el cual tienen una capacidad de generación de 25MwEl Instituto para la diversificación y el ahorro de energía (IDAE) (2007) describe las tecnologías de gasificación en la Tabla 2.9

Tabla 2.9.-Tecnologías del proceso de gasificación

Tecnologías de la gasificación			
Tipo de Tecnologías	Descripción	Ventajas	Desventajas
Gasificador de corriente ascendente o tiro directo	Este gasificador la toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba. Cerca de la parrilla, en el fondo, tienen lugar las reacciones de combustión. En la parte alta del gasificador tiene lugar el calentamiento y pirólisis de la carga, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, Los alquitranes y productos volátiles producidos durante este proceso son transportados por la corriente de gas. Se remueven las cenizas.	Alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que motiva unas bajas temperaturas y alta eficiencia del equipo. Funciona con muchos tipos de carga (aserrín, cáscaras de cereales, entre otros).	Posibilidad de que se produzcan "chimeneas" en el equipo, Eliminación de líquidos condensados que contienen alquitranes.
Gasificadores de corriente descendente o tiro invertido	El funcionamiento se basa en que el aire de primera gasificación. El gas pobre sale por el fondo del aparato de modo que el combustible y el gas se mueven en la misma dirección. En su camino hacia abajo, los productos ácidos y alquitranes de la destilación procedentes del combustible deben pasar a través de un lecho incandescente de carbón vegetal y se transforman por ello en gases permanentes de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano	Posibilidad de producir un gas sin alquitrán.	Los materiales blandos y de baja densidad ocasionan problemas de circulación y una caída excesiva de presión. Tienen menor eficiencia,
Gasificador de lecho fluidizado	Se sopla aire a través de un lecho de partículas sólidas a velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión. Se comienza por calentar externamente el lecho y el material de alimentación se introduce tan pronto como se alcanza una temperatura suficientemente elevada. Las partículas del combustible se introducen en el reactor, se mezclan con el material del lecho y se calientan alcanzando la temperatura del lecho. Como resultado de este tratamiento, el combustible se piróliza, con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos. Las partículas de ceniza se transportan también por la parte superior del reactor, debiendo extraerse de la corriente de gas si este se emplea en aplicaciones para motores	Es flexible en cuanto al material de alimentación. Tiene la capacidad de funcionar con materiales blandos y de grano fino (aserrín) sin necesidad de un proceso previo.	Los contenidos de alquitrán del gas pueden ser altos hasta de 500 mg/m ³ .
Gasificadores de tiro transversal	La gasificación del carbón vegetal produce temperaturas muy elevadas (1500°C y más) en la zona de oxidación que pueden producir problemas en los materiales. En los gasificadores de tiro transversal, el propio combustible (carbón vegetal) sirve de aislamiento contra estas altas temperaturas.	Puede funcionar a muy pequeña escala, siendo económicamente viables, en ciertas condiciones, instalaciones inferiores a 10 kWe.	Tienen una capacidad mínima de transformar el alquitrán.

Fuente. Fuente. Toscano (2009)

2.2 Antecedentes

El uso de los biocombustibles se remonta a la época del hombre en las cavernas, este utilizaba la biomasa para calentarse, calentar su comida, obtener y transformar metales. En los últimos años la energía proveniente de la biomasa se viene utilizando como energía alternativa para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, y se ha convertido en una alternativa energética de vanguardia ocupando el 1% de producción de energía eléctrica en el mundo. Para el 2005, Según el Survey of Energy Resources (2007), el World Energy Council WEC registró 183, 4 TWh (terawatts-hora), citado por el Atlas de Energía eléctrica de Brasil.

En búsqueda de la adaptación de distintos países a los objetivos del Protocolo de Kioto, para contribuir con la reducción de las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI), distintas empresas migran del uso del carbón al uso de la biomasa como combustible, tal es el caso de la empresa Dominion Virginia Power que ha solicitado a la comisión del estado de Virginia la aprobación para que tres centrales eléctricas que funcionan con carbón puedan ser utilizadas con combustible proveniente de la biomasa forestal. Estas centrales -Altavista, Hopewell y Condado de Southampton- aumentarán la generación a 150Mw utilizando los residuos de madera que provienen de la actividad industrial regional. Estas empresas estiman que realizando el cambio al uso de biomasa pueden llegar a reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, dióxido de azufre y mercurio. Dentro de los costos tienen un estimado de 165 millones de dólares, es decir 55 millones de dólares para cada estación de 51Mw.

Dentro de esta perspectiva se encuentran el grupo de energías renovables no convencionales a nivel mundial, donde para el 2006, según Granifo (2009), estaban en primer lugar las provenientes de mini hidráulicas (36.2%), seguida de la energía eólica (32,4%) y por último la energía de biomasa con (24.2%) y una capacidad instalada equivalente a 44 GW.

El Banco Mundial expone los indicadores mundiales de uso de la biomasa (los combustibles renovables y residuos que constituyen la biomasa sólida y líquida, además del biogás de los residuos industriales y municipales), medidos por su consumo total de energía.

Asimismo estos autores exponen que para el 2005 existían varios países productores de bioenergía, los cuales se muestran en la Tabla 2.10, destacando como el mayor productor de bioenergía Estados Unidos, seguido de Alemania y Brasil.

En este mismo sentido, Camps y Marcos (2008) enfatizan que entre las perspectivas en el mercado mundial de las tecnologías de energía renovables (TER), resalta que el uso de biocombustibles procedente de semillas de aceite de colza en Europa. La biomasa residual, biogás y biocarburantes son provenientes del sector forestal y agrícola principalmente y su uso tiene una importante contribución en la energía total consumida.

Las aplicaciones eléctricas para el sector industrial fundamentalmente están asociadas a la cogeneración, aprovechando la combustión de madera y papel.

Tabla 2.10. Países productores de bioenergía 2005

Países productores de bioenergía 2.005		
País	TWh	%
Estados Unidos	56,3	30,7
Alemania	13,4	7,3
Brasil	13,4	7,3
Japón	9,4	5,1
Finlandia	8,9	4,9
Reino Unido	8,5	4,7
Canadá	8,5	4,6
España	7,8	4,3
Otros Países	57,1	31,1
Total	183,3	100

Fuente. WEC, 2007. Citado en el Atlas de Energía Eléctrica en Brasil

Es importante considerar que muchos países han realizado investigaciones para la producción de energías alternativas, partiendo del uso de los desechos de origen municipal, agroindustrial, forestal, agrícola.

En Guatemala, Pérez (2006) presentó una investigación sobre la producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. El objetivo fue incentivar el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos RSU, y como una de las conclusiones aportadas por este autor acerca de la gestión de los residuos sólidos se tiene: La actividad energética como producción de combustible para su posterior utilización, en la gestión de los residuos sólidos urbanos puede ser un complemento al aprovechamiento social de la rentabilidad económica y ambiental de dicha actividad, siendo una opción la generación de energía eléctrica. (p.135)

De esta manera el investigador demuestra como el aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSU para la producción de biogás, y su utilización como combustible en la generación de energía eléctrica a través de motores de combustión interna, en instalaciones con fines energéticos, en este caso un vertedero controlado; contribuye al desarrollo sostenible, como una fuente de energía renovable que no afecte, al medio ambiente al producir energía eléctrica disminuyendo, además, el volumen de RSU.

Otro estudio realizado en Canadá por Monreal (2008), sobre la utilización de los residuos agrícolas y otros desechos para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos, expresa que la agricultura puede contribuir con la producción de bioenergía, partiendo de los restos agrícolas, y del uso de la tecnología de cogeneración de energía a través de la digestión anaeróbica y producción de biomasa para

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

la producción de energía en diferentes sectores como centros poblados e industria. Resalta como uno de los beneficios de la bioenergía: La seguridad alimentaria y energética, la bioseguridad, la reducción de emisiones de gases efecto invernadero GEI, la conservación de la calidad de Suelo, agua y aire, y el fortalecimiento de economías rurales, agrícolas y forestales. (p.1)

Para obtener estos beneficios o ventajas de la utilización de los residuos agrícolas y forestales para la generación de energía, es necesario resaltar que dicho autor hace énfasis en que la incorporación de tecnologías de este tipo depende de numerosos factores como: capital de inversión, rentabilidad, disponibilidad de biomasa o residuos, sistemas de producción, suelos y factores climáticos.

Este investigador argumenta que los residuos de biomasa pueden ser utilizados para la producción de energía, ya que representa una fuente de energía importante: La biomasa representa la fuente de energía renovable más importante, proveyendo alrededor de un 9% (45 EJ) del total. Para el año 2.020, será posible que el 21% de las necesidades eléctricas a nivel mundial sea cubierto por la biomasa. Para el año 2050, el potencial de producción de energía por biomasa puede estar en un rango de hasta 400 EJ, cuando el total de energía requerida a nivel mundial sea de un rango de hasta 1400 EJ. (p.1) Monreal (2008).

Además de lo anterior, enfatiza que la agricultura puede servir para la producción de energía, sin comprometer la seguridad agroalimentaria, y explica el uso de las tecnologías a partir de cogeneración de energía con digestión anaeróbica y combustión de residuos de biomasa, como alternativas para producir bioenergía para hogares, comunidades, granjas e industria. También se discuten las tecnologías y equipos de gasificación y pirolisis (p.1)

Dentro de los estudios realizados sobre el uso de biomasa con fines energéticos, se puede hacer referencia a los países Nórdicos, donde su principal fuente de energía es la proveniente de la biomasa, como lo reseñan Bellolio y Karelovic (2011). En el Reino Unido se produce aproximadamente 42 TWh, de los cuales se importa el 14%. La generación de energía de biomasa aprovecha la combustión directa, fuertemente apoyada por los Certificados Verdes según European Renewable Energy Council. "Renewable Energy Policy Review, United Kingdom". Marzo 2009. (El Renewables Obligation, RO), que obliga a los productores de energía eléctrica a incrementar cierto porcentaje a favor de las energías renovables, con incentivos para promover el uso de la biomasa. Estos mismos autores explican el caso de Dinamarca donde, las estadísticas de la Agencia de Energía refieren que la biomasa forestal tiene un aporte de aproximadamente 11.000 CWh, lo que equivale a 34% de energía renovable

En España, Echeverría (2007) presenta un análisis tecno-económico de la producción y uso de los biocombustibles para aplicaciones de calor y frío en el sur de Europa. Este proyecto considera las siguientes etapas: evaluación de la biomasa disponible, recolección, transporte de la biomasa, transformación, distribución de la biomasa y uso

industrialización. Los inicios del uso de la biomasa en Venezuela se cuentan a partir del 2008, cuando se comenzó la construcción de cuatro plantas para producir etanol a partir de caña de azúcar y yuca. El etanol puede ser utilizado como combustible para automóviles, solo o combinado con gasolina.

Caraballo (2012) hace referencia al Central Azucarero “Ezequiel Zamora” que utiliza como combustible el bagazo de caña, para generar su propia energía eléctrica y, además, aporta al Sistema Eléctrico Nacional aproximadamente 10Mw/hora. Este central para el 2010 generó un total de 54 907,93 Mw,

2.2.1 Experiencias en la utilización de biomasa forestal para la generación de energía

A nivel mundial el petróleo representa la principal oferta de energía, sin embargo, también se ha incrementado el uso de energías alternativas y muestra de ello es la instalación de distintas plantas de generación de energía a partir de residuos forestales. La energía puede ser calor, electricidad o cogeneración (energía y calor), utilizada para el autoconsumo de las plantas y para el abastecimiento de pequeñas poblaciones. Para la generación de energía estas plantas utilizan procesos de gasificación, pirolisis y combustión, siendo esta última la más utilizada.

Ben (2003), expone el aprovechamiento energético de la biomasa en España, y hace referencia a varios ejemplos como la planta de biomasa de Sangüesa, localizada al sur de Europa, la cual utiliza paja de cereal como materia prima para la producción de energía. La instalación es de 25 Mw, tiene una producción de 200 GWh de electricidad anual, beneficiando aproximadamente 60.000 hogares a través del aprovechamiento de 160.000 ton/año de paja de cereal. Actualmente para la producción de electricidad usan el proceso de combustión utilizando una caldera con parrilla vibratoria y turbina de vapor, sin embargo a futuro plantean el uso de mejores tecnologías como gasificación y pirolisis ya que estas aumentarían el rendimiento.

Otra experiencia es la expuesta en el Congreso Nacional del Medio Ambiente-CONAMA (2012), donde describen el proyecto de instalación de la planta de valorización material y energética de biomasa en S'Aranjassa (Mallorca) en Baleares, Palma, España. La materia prima que utilizaran es aproximadamente 35.000 ton/año de biomasa de origen forestal, industrial y agrícola; con un porcentaje de humedad estimado del 20%. La tecnología planteada es la gasificación, utilizando dos gasificadores con una potencia de 750 kw y una generación eléctrica de 12.187,5 Mwh/año con la posibilidad de beneficiar 2.708 hogares. Estiman la generación térmica con recuperación de calor que se utilizara en el secado de biomasa en unos 8.010 Mwh/año. El ahorro de emisiones de CO2 es de 15.064 ton/año

En Andalucía, España se encuentra la central de biomasa en Huelva. El Grupo ENCE (2011) describen que la planta tiene La potencia de generación eléctrica instalada en la planta de Huelva es de 117 Mw/año, discriminado 68 Mw producidos mediante biomasa y 49 Mw mediante cogeneración de gas. Esta planta produce la energía que consume y ha

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

por año de producción, de donde el 50% se queda en los aserríos. Dentro de esta investigación se realizaron análisis del mercado local de energía, cantidad de residuos que se producen tanto en los bosques como en los aserríos, transporte a sitio de tratamiento, tecnologías para la conversión y el análisis del manejo forestal. Dentro de los resultados se muestra que el potencial forestal disponible es de 60.000 ton/año, en cuanto al sitio de transformación se encontró la disponibilidad de tres lugares, mientras la producción energética indica que se puede alcanzar un potencial de 1.500 Kw.

En Cuba, Márquez, Cordero, Rodríguez y otros (2001) realizaron una investigación sobre el potencial energético de la biomasa proveniente de distintos tipos de residuos forestales, los cuales tienen posibilidades de aprovechamiento mediante el uso de tratamientos térmicos como combustión, gasificación y pirolisis, partiendo del hecho que el potencial energético depende del valor calorífico.

Estudian el posible aprovechamiento energético de los residuos forestales de las siguientes especies: *Pinus Caribaea Morelet vart*, *Caribaea (Pc)* y *Pinus Tropicales morelet (pt)*; *Eucaliptus Saligna Smith(Es)*, *Eucaliptus Citriodora Hook(Ec)* y *Eucaliptus, Dicrostachys cinerea*, *Conocarpus erecta*, *Quercus Oleoide*,. Mediante la preparación de carbonizados de aserrín llevados a un laboratorio, que se someten a una temperatura de 700 °C y 2 horas de carbonización y carbonos vegetales preparados en el horno de parva, llegan a la conclusión que estos materiales presentan altas posibilidades de aprovechamiento energético.

Fernández y Saavedra (1997) hacen referencia que en Bolivia existe dos realidades: una realidad urbana energéticamente satisfecha con combustibles modernos y una realidad rural aislada, y marginada del mercado energético nacional, donde se utiliza energía de la biomasa, sin embargo esta no es comercializada por parte de las compañías eléctricas.

En Chile, Pinheiro (2005) realizó una investigación sobre el potencial de generación de energía usando cáscara de arroz y residuos de madera. Los datos fueron obtenidos por medio de entrevistas realizadas a los encargados de empresas urbanas interesadas en la producción de energía amigable con el ambiente, en donde se concluyó la necesidad de profundizar este tipo de conocimientos para obtener energías más limpias. En este trabajo también se hace referencia a los tipos de tecnologías para producción energética como: combustión, digestión anaeróbica, fermentación, incineración y gasificación. Para la biomasa forestal, Pinheiro (2005) enfatiza que la biomasa (forestal) puede ser utilizada a través de diferentes tecnologías para la generación de energía eléctrica y térmica, como la combustión a varias escalas desde 200Kwe utilizando calderas. Dentro de las conclusiones que esta investigadora presenta esta la necesidad que tienen las empresas de ser capacitadas para obtener mayor información sobre un sistema de gestión ambiental con el objetivo de desarrollar energías limpias.

En el caso venezolano, Domínguez, López y Vivas (2010) refieren que el uso de la biomasa en Venezuela nace a partir de 1960, con el desarrollo de las centrales azucareros; en donde el bagazo de caña generado en dicha actividad, era utilizado como combustible para la producción de vapor y utilización dentro del proceso de

comenzado a suministrar energía al sistema eléctrico; estima generar más de 950 empleos directos de los cuales 500 corresponden a las áreas rurales. La materia prima que utilizan para la generación de energía eléctrica es la biomasa residual proveniente de cultivos forestales, siendo aproximadamente 400.000 ton/año. La tecnología utilizada es la combustión, específicamente caldera de lecho fluidizado, el cual permite trabajar a temperaturas inferiores a 800°C frente a 1.000°C de la tecnología tradicional de parrilla, lo que disminuye las emisiones de NOx y CO y la formación de aglomerados y escorias producidas por la combustión de la biomasa. Esta tecnología es más eficiente porque permite mayor heterogeneidad en la mezcla de combustible utilizado y un mayor rango de humedad, pudiendo hacer uso de cultivos energéticos de eucalipto como combustible.

En Galicia, España, la planta Allarluz, S.A situada en el municipio orensano de Allariz produce energía eléctrica que se vende a la empresa distribuidora de la zona. Según Almagro, Tolosana, Ambrosio, Fernández y Vignote (2009), es la primera central de biomasa que utiliza residuos forestales procedentes de limpieza de montes, así como subproductos de transformación primaria (aserraderos) y fábricas de tableros. Por medio de un convenio establecido en 1999 con la consejería de Medio Ambiente, a la central se le suministran unas 4.500 ton/año de biomasa forestal. Otro aspecto importante de esta central es que para garantizar el funcionamiento sostenido (6.000 horas/año) utiliza como combustible de apoyo la corteza proveniente del convenio con varios transportistas con el objeto de garantizar el suministro de 16.000 ton/año de biomasa a pie de central a un precio predeterminado (entre 650 y 750 Euros). La biomasa residual proviene de varios aserraderos en Orense y también en algunos casos de la provincia de Coruña. El combustible suministrado a la caldera es de aproximadamente 4 toneladas por hora y PCI medio 2.310 Kcal/Kg, la generación de calor vapor es de 11ton/h con una temperatura de 400 °C, para una producción eléctrica de 2,35 M w. La producción eléctrica tiene dos usos la exportación para autoconsumo y producción de energía térmica. Para lograr sus objetivos utilizan un generador con tecnología ERK, con un sistema de combustión de parrilla, con una potencia térmica de 7.289.140 Kcal/h, utilizando 11.000 Kg/h, a 40 bares y 400 °C.

Castaño (2013), refiere que en Asturias, España, Hulleras del Norte, S.A (HUNOSA) invertirá en la construcción de una central eléctrica de biomasa en el polígono de Reiscastro, en Mieres, con fines de aprovechar los residuos forestales para la generación de energía. La planta de biomasa forestal tiene una potencia térmica de 49.9 Mw. Según las estimaciones tendrá un consumo aproximado de 128.000 Ton/año. Se utilizara el proceso de combustión mediante el uso de una caldera acuotubular, el turbogenerador será alimentado por el vapor proveniente de la caldera de la biomasa y un generador con una potencia eléctrica de 18,5 Mw.

En España, Energylab (2009) utiliza la energía proveniente de la biomasa forestal en el sector residencial, a través de una red de calefacción centralizada que otorga a distintos sectores, como edificios y viviendas unifamiliares, por medio del sistema district heating con biomasa, tal es el caso de la Red de Calefacción Centralizada en Cuéllar (Segovial), donde utilizan un sistema de combustión directa mediante el uso de la caldera principal que genera 4.500.000 kcal/h consumiendo 198 ton/ h.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

En Loma de Plata, en la región de Chaco Paraguay, según Maser, Aguillon, Gamino (2005), la Compañía Alemana Imbert instaló en 1983 un grupo de electrógeno con una potencia de 1.4 Mwe, alimentado del gas proveniente de madera. Esta planta tenía dos gasificadores de tiro invertido, con una capacidad de generación de gas de 1800m³/h cada uno. Luego incorporan un tercer gasificador. Los gasificadores alimentan tres conjuntos de gas motor – alternador, con una capacidad de generación de 420KVA cada uno. El grupo electrógeno beneficia energéticamente a una cooperativa agrícola e industrias pequeñas, panaderías, escuelas y a una población de 1500 familias. Esta central eléctrica, emplea aproximadamente 15.000 toneladas de leña al año. Dentro de las características de la materia prima se tiene: el diámetro de los troncos oscila entre 50mm y 250mm, la densidad aparente de la madera es de 400Kg/ m³, la humedad de 25% (esta humedad disminuye de un 5 a un 10% después del contacto con los gases de escape, con una temperatura de aproximadamente de 150°C). La potencia eléctrica de esta central cuando se utiliza diesel es de 859KWe cada gasificador y cuando se utiliza gas de madera la potencia es de 525 KWe. Durante el primer año de funcionamiento registraron aproximadamente durante 24 horas por 300 días al año, cada gasificador-motor generó 2.060 Mwe de electricidad.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1993) en Argentina existe una cantidad considerable de biomasa para la producción de energía, partiendo de la energía mecánica y posteriormente convertirla en energía eléctrica, mediante motores de combustión interna alimentados por gas y máquinas a vapor. Estas máquinas requieren de producción de vapor en calderas de tipo acuo-tubular o humo-tubular, en sitios especialmente para combustión biomásicos. Las turbinas de vapor utilizan un rango de 1 a 2 Mw, también se usa la cogeneración con la que se obtienen mayores rendimientos. En este país la generación de energía a partir de biomasa es bastante amplia y exitosa.

Dentro de las empresas que generan energía a partir de recursos biomásicos se tienen:

- Cooperativa Azucarera San Javier (San Javier - Misiones): 210 kW, utiliza bagazo y leña.
- Cooperativa Agrícola Picada Libertad (Leandro N. Alem - Misiones): utiliza cáscara de tung y leña. El motor tiene 2 cilindros 5.800 Cant. de Vapor kg/h.
- Cooperativa Agrícola Oberá (Oberá - Misiones): utiliza cáscara de tung y leña tiene una potencia 300 kW
- Té del Valle (Aristóbulo del Valle - Misiones): 250 kW, utiliza leña con la tecnología de cogeneración, el motor es de dos cilindros produciendo 6.800 Cant. de Vapor kg/h.
- Pindapoy (Apóstoles - Misiones): utiliza leña y residuos de aserradero con una obtención de 300 kW, para proveer la empresa en la elaboración de sus productos.

Como ejemplo particular, se comenta el caso de la empresa Establecimiento Las Marías, Sociedad Anónima Comercial, Industrial, Financiera y Agropecuaria, ubicada en el Departamento de Gobernador Virasoro en Argentina. Dicha planta es un complejo empresarial que incluye actividades de explotación agropecuaria, forestación e

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Otro de los países que utiliza la biomasa residual seca con fines energéticos descrito por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO (1995) es Honduras, donde se encuentran plantas de generación de energía entre las que destaca: la que tiene la empresa BIOGEN con una potencia instalada de 15 Mw, para la generación de energía eléctrica Utilizando 675 ton/día de residuos de aserraderos como aserrín, costaneras, puntas, retazos de tablas y desperdicios del aprovechamiento forestal. De igual manera, la empresa Yodeo es una planta de producción eléctrica que tiene una capacidad de generación de 3Mw/h, usando como combustible residuos como el 25% de corteza, 30% de aserrín, 30% de costeros y listones y un 15% de residuos de corte o despunte. La caldera está diseñada para producir 8,8 ton/h de vapor y cuenta con una válvula de reducción de presión para mantener 12 bar a la entrada de los hornos de secado. El consumo de vapor de estos hornos es de 3 Ton/h, lo que deja 5,8 ton/h para ser utilizadas en la turbina de generación eléctrica. Los costos de generación estimados por el estudio, a precios actuales, son de \$EE.UU. 0,07 por kWh usando desechos de madera y los costos de generación usando diesel se estiman en \$EE.UU. 0,10 por kWh.

Además se tiene otras plantas de generación como la Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Comunidad Agroforestal de Chanquite Grande y Aserradero Lumberton, las cuales poseen características similares y utilizan residuos de madera de la industria y aprovechamiento forestal.

Otros países como Canadá tienen proyectos de instalación de plantas de generación de energía. Según ECONOTICIAS (2013), se construirán dos centrales de biomasa la Fort St. James y la Merrit, con una capacidad instalada de 80 megavatios (Mw). Estas dos plantas contarán con dos generadores de vapor con una tecnología de combustión de parrilla, siendo esta una de las más evolucionadas del mercado. La materia prima que se utilizará son los residuos provenientes de los aserraderos como el aserrín, y los residuos provenientes de la actividad forestal que se desarrolla en la zona. Estas centrales serán dos de las más potentes localizadas en Canadá, beneficiarán a 160.000 hogares y evitarán emitir a la atmósfera unas 570.000 toneladas anuales de CO₂. Aunado a esto, a nivel socioeconómico generará un promedio de 500 empleos en la fase de construcción y 22 puestos de trabajo directo durante la operación y mantenimiento de las centrales.

En China, se genera energía por medio de gasificación de la biomasa. Según Masera y otros (2005), este país cuenta con grandes extensiones de biomasa, principalmente la proveniente de los sectores agrícolas y forestales. Aunado a esto también tienen zonas rurales con ausencia de electricidad. La generación de la energía usando la tecnología de la gasificación comenzó desde los años 60, utilizando la cascara de arroz en un sistema de generación de 60 KWe, ahora los sistemas oscilan entre los 160 y 200KWe. En 1998, desarrollaron un sistema de 1Mwe, empleando un generador de gas de lecho fluidificado. En el 2000 se instaló una nueva planta con una capacidad de generación de 1.2 Mwe en Sanya provincia de Haina

Otra de las experiencias en Chile es el proyecto de la central de biomasa Trupan, planta de cogeneración que utiliza como combustible biomasa proveniente de las actividades industriales específicamente la originada en los aserraderos. Esta planta utiliza el proceso de combustión utilizando una caldera de alta presión para quemar 170 ton/h de biomasa y tener una generación eléctrica de 30 Mw. El 60% de energía aproximadamente es utilizada en los procesos internos del Complejo Trupan, 40% restante es inyectado al sistema interconectado

Igualmente en Chile se encuentra el Complejo Industrial Cabrero de MASISA S.A es el sistema de cogeneración de energía con biomasa vegetal que suministra de energía a MASISA. La planta de cogeneración de energía eléctrica es de 9.6 Mw, y 65 ton/h de generación de vapor para el secado de la madera. La generación de energía térmica utiliza 61.600 ton/año de residuos forestales, compuestos por cortezas, virutas, aserrín y astillas que provienen del aserradero. El requerimiento energético anual de biomasa corresponde a 520.000 Mw/año, equivalente aproximadamente 106.730 ton secas. Es importante resaltar que en países como Chile, las grandes empresas forestales aprovechan los residuos de los aserraderos en el proceso de secado y cogeneración y combustión directa, utilizando el calor generado durante el secado de la madera. Celulosa Arauco y Constitución S.A. (2006)

En Brasil, en Rio de Janeiro, según el Atlas de Energía do electrica (2002), existen 159 termoeléctricas instaladas que operan utilizando biomasa, y tienen una capacidad instalada de 992 Mw, lo que corresponde al 8% de parque térmico de generación de 1,4% de todo el país. Existen cuatro centrales que generan 25,5 Mw a partir de residuos de madera. En construcción se encuentra la Central Termoeléctrica de Piratini, localizada en el municipio Pitatini, con una capacidad instalada de 10 Mw, que aportara al sistema eléctrico 105 M.

En Cuba el uso de biomasa es relativamente bajo, sin embargo se tienen algunos proyectos de instalación de plantas para la generación de energía eléctrica dentro de estas se tienen:

- La Planta de generación de energía eléctrica ubicada en la provincia de Pinar del Río usando para la generación de energía la planta utiliza la tecnología de combustión y cuenta con una capacidad instalada de 1Mw, se alimenta de los residuos de la industria forestal del Aserradero de Macurije.
- En la Isla de la Juventud para la instalación de una planta de electricidad con una capacidad instalada de 5Mw. La cantidad de biomasa que requiere es de 25.000 ton/ año, los residuos a utilizar son provenientes de los residuos de las plantaciones energéticas como eucalipto y casuarina, y de residuos de la tala, aserraderos y del tratamiento del bosque. Para la generación de energía la planta utiliza la tecnología de combustión con una caldera en el lecho fluidizado con una eficiencia del 25%.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

2.2 Experiencias metodológicas en la selección de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa

A continuación se hace mención de algunos trabajos relacionados con procesos metodológicos en el tema de energías alternativas especialmente de biomasa forestal, usados como referencia en el desarrollo de este trabajo.

La Sogis y otros (2010) realizaron un estudio para el Carbon Basics Company Ltd, el objetivo central fue analizar el potencial para importar las tecnologías del manejo forestal de energía renovable para el consumo de la población de El Salto México. Dentro de este estudio incluyen el análisis potencial del crecimiento forestal además de la generación de energía a partir de biomasa forestal y la exploración de las tecnologías para la generación de energía térmica y eléctrica tomando como referencia una generación de 1Mw a 15Mw. Dentro de las tecnologías de conversión analizadas tienen la combustión directa, la gasificación y pirólisis. Además realizaron un análisis de los criterios de evaluación para la selección de tecnologías de conversión y generación de energía dentro de los cuales se tienen: detalle de la tecnología, impactos ambientales, economía, requisitos del combustible, factibilidad operativa y del sitio. Cada uno de estos criterios tiene sus especificaciones de selección. Establecieron la comparación entre la tecnología de combustión y gasificación con categorías de clasificación de alta, media o baja por cada uno de los criterios donde la información es cualitativa, solo la capacidad nominal es cuantitativa. En esta investigación no se realiza ponderación de los criterios.

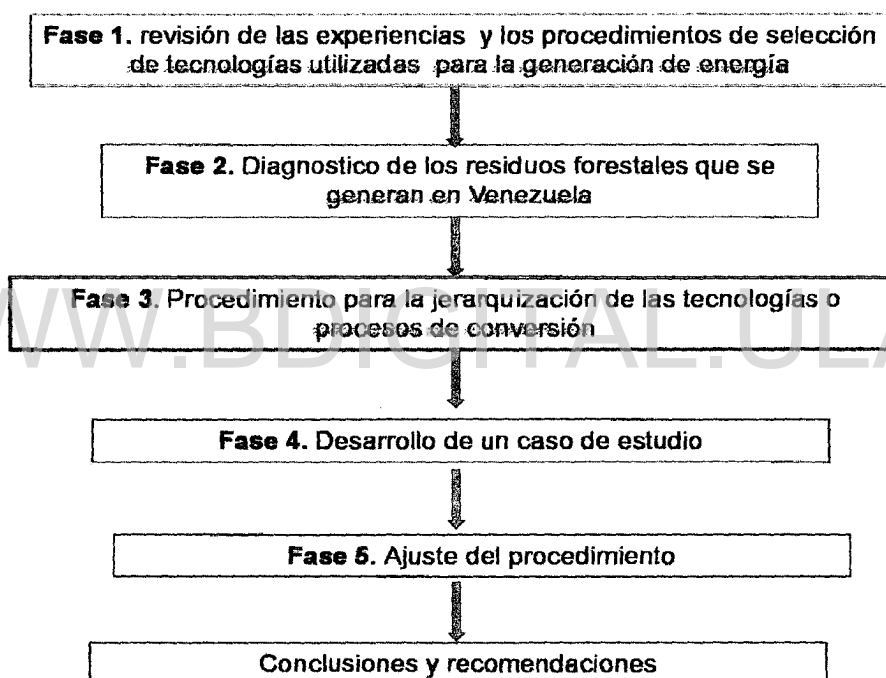
Otra de las investigaciones fue la evaluación de biomasa como recurso energético renovable en Cataluña, estudio elaborado por Martínez (2009). Entre las temáticas abordadas por este investigador se tienen: revisión de las experiencias de generación de energía a partir de biomasa en España, cuantificación de la biomasa disponible abarcando los residuos de origen forestal, agrícolas, industrial, y sólidos urbanos en Cataluña. También estudio las técnicas de extracción de biomasa, además realizó la revisión de las tecnologías para la conversión energética de la biomasa como son la combustión, gasificación y pirolisis.

Igualmente este autor realiza un análisis multicriterio sobre el aprovechamiento energético de los recursos forestales, tocando puntos sociales, tecnológicos, y ambientales. Analiza además la situación del uso de la biomasa en Cataluña, la necesidad gestionar los residuos y los impactos asociados al transporte, a la explotación forestal y la generación de energía.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

3.1 Aspectos generales

En este capítulo se describen los procedimientos y la metodología empleada para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, la cual está constituida por cinco (5) fases. En la Figura 3.1 se muestra, de manera secuencial, el esquema metodológico.



Fuente. Elaboración propia

Figura 3.1- Esquema general de la metodología.

Descripción de las fases de la investigación.

A continuación se describen las distintas actividades desarrolladas dentro de cada una de las fases.

Fase 1: Revisión de las experiencias y los procedimientos de selección de tecnologías utilizadas para la generación de energía. Se recopiló información de libros especializados, artículos, documentos y páginas web elaborados por instituciones e investigadores, relacionados con las experiencias a nivel mundial en cuanto a la generación de energía eléctrica a partir de biomasa residual forestal; además de las distintas tecnologías utilizadas dentro del proceso de conversión energética.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

El objetivo de esta etapa es conocer la utilización de la biomasa residual seca en la generación de energía eléctrica a nivel mundial, haciendo énfasis en la identificación de las alternativas tecnológicas, considerando aspectos como: origen de los residuos utilizados, tratamientos y tecnologías usadas, cantidad de residuos, capacidad de generación, requerimientos de mano de obra, potencia instalada, rendimiento de producción, población beneficiada y generación de empleo. También se investigó sobre los procesos de conversión y las distintas tecnologías utilizadas para la generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales. Esta fase se desarrolló en el Capítulo 2 de este trabajo, correspondiente al marco teórico sobre el manejo de residuos forestales para el aprovechamiento energético y los antecedentes sobre el tema.

Fase 2: Diagnóstico de los residuos forestales que se generan en Venezuela. En esta fase se realizó el diagnóstico de la situación actual de los residuos provenientes de las empresas de transformación primaria de madera (aserraderos). Para el desarrollo de esta fase se tomó como referencia el trabajo realizado en el 2012 por el Instituto Forestal Latino Americano IFLA para la Dirección de Energías Alternativas del Ministerio del Poder Popular de Energía- MppPE. En el diagnóstico se resaltaron aspectos como cantidad de aserraderos distribuidos en el país, cantidad, tipo y características de los residuos generados, y especies procesadas. En función de los resultados generados en este diagnóstico, se elige el caso de estudio.

Fase 3: Procedimiento para la jerarquización de tecnologías o tratamientos de conversión. En esta fase se enumeran los pasos a seguir a través de un flujograma de decisión (ver Figura 3.2), para seleccionar tecnologías utilizadas para la conversión de biomasa residual forestal en energía eléctrica, partiendo de la selección de los criterios de exclusión, seguido de la identificación de los criterios e indicadores de gestión, determinando la importancia relativa de cada uno para finalizar con la jerarquización de las tecnologías, tal como se detalla a continuación:

- 1. Identificación de los criterios de exclusión.** En esta primera parte se identifican los primeros criterios a utilizar en el procedimiento para seleccionar la tecnología más adecuada para la conversión de biomasa residual forestal en energía eléctrica. Estos criterios, denominados criterios de exclusión, son el primer filtro para determinar si el aprovechamiento de la biomasa residual forestal es viable o no.
- 2. Identificación de las tecnologías y los proveedores.** La identificación de las tecnologías utilizadas para la conversión energética de los residuos forestales, así como los proveedores de las mismas, se realiza con la finalidad de recabar información acerca de las características propias de cada tecnología, tales como capacidad nominal, eficiencia tecnológica, porcentaje de ceniza, emisión de gases y costo; que permita establecer los criterios de gestión a utilizar para evaluar las mismas.
- 3. Identificación de los criterios de gestión, selección de indicadores y ponderación.** Se identifican los criterios de gestión (sociales, técnicos, ambientales y económicos) y se seleccionan una serie de indicadores por cada criterio de gestión, tomando como referencia estudios hechos por otros investigadores en el área y la información disponible de cada tecnología. En este

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4. paso se establece un sistema de evaluación de tecnologías a través de la asignación de rangos y valores a cada indicador de gestión, en función de la información disponible de cada tecnología. La asignación de los valores para cada rango establecido, se realizó con una escala nominal donde 3 es el valor más óptimo, 2 mediamente óptimo y 1 deficiente.

Adicionalmente se determinó, mediante una consulta de expertos, la importancia relativa de cada indicador en función de la siguiente escala nominal: Importancia baja= 1, Importancia media=2 e Importancia alta=3. Véase en el Apéndice 1 el instrumento enviado a cada experto en energías alternativas.

5. **Jerarquización de tecnologías.** Para la jerarquización de las tecnologías se formuló una matriz de puntuación de la siguiente manera:

- Se colocaron en las filas los criterios de gestión establecidos en el Paso 3, con cada uno de los indicadores respectivos.
- La primera columna corresponde a la ponderación (P) de cada uno de estos indicadores de gestión, obtenida de la consulta de expertos.
- Para cada tecnología se procedió a la evaluación de los indicadores y la asignación de valores (V), realizada en el Paso 3 una vez obtenida la información de los proveedores de las tecnologías. Anotar en la columna (VxP) el resultado de multiplicar el valor de la columna V por el valor de ponderación P de cada indicador. Se realiza un sumatoria de los valores (VxP) de todos los indicadores para cada una de las tecnologías evaluadas y se columna en la fila de **TOTAL**. El orden de prioridad (jerarquización) queda establecido en función de la puntuación total que alcanza cada tecnología. En este caso el mayor valor indica *mejor* aptitud o condición más favorable.

Fase 4: Desarrollo del caso de estudio. Para completar la metodología, y en función de los resultados emanados de la Fase II correspondiente al diagnóstico de los residuos forestales que se generan en Venezuela, se aplica está a un caso de estudio, con el propósito de validarla, y poder realizar ajustes de ser necesario. El área de estudio corresponde al oriente del país específicamente en la Parroquia Chaguaramas, municipio Libertador Estado Monagas, en esta parroquia se localizan un número concentrados de aserraderos, con una producción constante de residuos, siendo un elemento clave para la elección del mismo además que existen proyecciones por parte del Ministerio del Poder Popular de Energía- MpPPE de futura localización de una planta de generación de energía.

Fase 5: Ajuste del procedimiento Esta fase se desarrolló con el objetivo de realizar los ajustes necesarios al procedimiento inicial propuesto, en función de las observaciones resultantes de la aplicación del caso de estudio.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CAPÍTULO 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación, de acuerdo a los objetivos planteados en el capítulo 1. Se parte de la revisión de las tecnologías utilizadas para generación de energía a partir de residuos forestales, el diagnóstico de la situación actual de los residuos forestales en Venezuela, seguido del procedimiento desarrollado para la jerarquización de las tecnologías y finalmente se presenta el caso de estudio donde se pone en práctica la metodología propuesta.

4.1 Uso de tecnologías en otras partes del mundo. En la fase 1 de esta investigación se realizó la revisión de las distintas experiencias en cuanto al uso de tecnologías para generación de energía a partir de residuos forestales, tal como se muestra en la Tabla 4.1 donde se pudo constatar que a nivel mundial en distintos países como España, Cuba, Chile, Panamá, China entre otros se utilizan mayormente dos de las tres alternativas tecnológicas existentes en la actualidad para la generación de energía a partir de residuos forestales, como son la gasificación y la combustión, siendo esta última las más utilizada por las distintas plantas para la generación de electricidad o calefacción. En el caso de la de gasificación y pirolisis, son tecnologías utilizadas a gran escala con residuos sólidos que aún están siendo desarrollados en los países industrializados. Dentro del proceso de combustión las tecnologías utilizadas por las distintas plantas de energía son las siguientes: caldera con parrilla vibratoria y turbina de vapor, lecho fluidificado, caldera acuotubular o humo-tubular, calderas de alta presión; tecnología ERK la cual utiliza un sistema de combustión de parrilla. También se utilizan procesos de cogeneración con turbinas de vapor, y en menor proporción se tienen los gasificadores de tiro invertido. En virtud que el proceso de combustión es el más utilizado, la investigación se centró en la evaluación de tecnologías que utilicen este proceso.

4.2. Diagnóstico de los residuos forestales en Venezuela. Dentro de las actividades productivas que se realizan en el país se encuentran las del sector industrial-forestal, desarrolladas por las industrias madereras encargadas de la transformación primaria y secundaria de la madera en distintos productos como: aserrío, contrachapado, machihembrado, pulpa para papel y cartón, tablas para construcción, estantillos. Las industrias madereras utilizan distintas especies de las plantaciones provenientes de: Uverito, San Carlos – Cojedes, hatos agropecuarios, fundos privados de Barinas y Guanare, Guanarito, Proforca (a partir del 2014 Maderas del Orinoco), Monagas, Anzoátegui, Guárico, Ospino, Portuguesa (Smurfit), Y otras especies son de bosques naturales ubicados en: Barinas, Portuguesa, Sabana Mendoza y la Reserva de Imataca en el estado Bolívar. Dentro de las especies que se utilizan en el país se tienen las siguientes: El pino caribe *Pinu scaribaea*, teca *Tectona grandis* Linn F, samán *Pithecellobium*, drago *Dracaenadraco* L, caucho *Ficus elástica roxb*, jobo *Spondiasmombin* L; camoruco *Sterculia apétala*, roble *Tabebuia rosea*, algarrobo *Ceratoniasiliqua* L, zapatero *Pachygrapsusmarmoratus*, puy *Tabebuia avellanadae*, melina *GmelinaarboreaRoxb*, apamate *Tabebuia rosea* y eucaliptus(*Eucaliptus globulus*) que provienen en algunos casos del bosque natural, hatos agropecuarios, fundos privados y otras de plantaciones.

Tabla 4.1-Tecnologías en distintos países

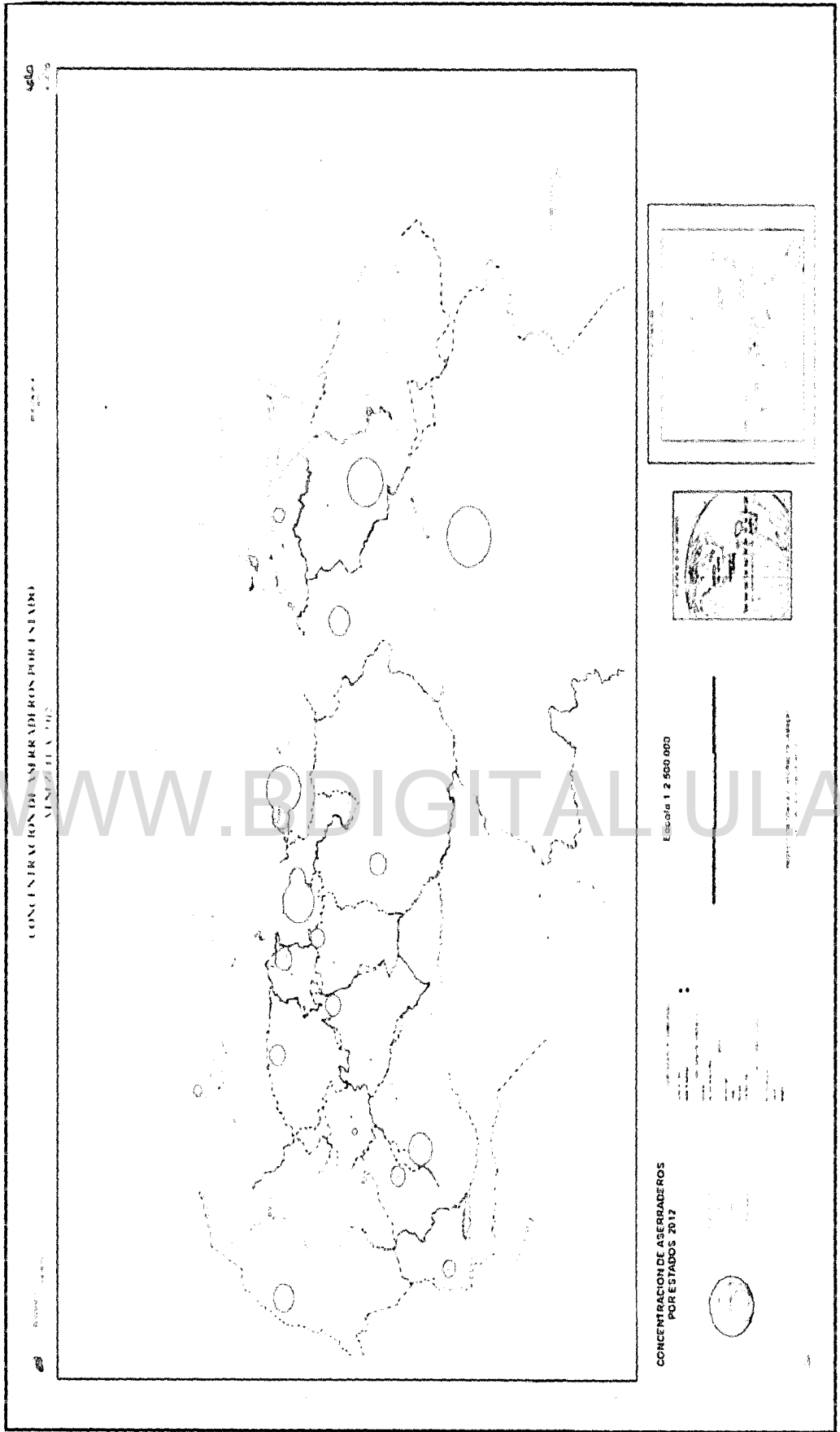
Ubicación	Tipo de biomasa	Tratamiento térmico	Tecnología	Capacidad instalada
Sur de Europa	Paja de cereal	Combustión		25 Mw
Baleares, España	Biomasa de origen forestal	Gasificación	Gasificadores	12187 Mw
Huelva, España	Biomasa proveniente de cultivos forestales	Combustión	Caldera de lecho fluidizado	68Mw
Galicia, España	Residuos forestales	Combustión	Parrilla, generador Erk	2,35 Mw
Chaco, Paraguay	Leña	Gasificación	Gasificadores de tiro invertido	2,060Mwe
Argentina	Residuos forestales	Combustión interna	Calderas de tipo acuotubular	2 Mw
Establecimiento las Marías Argentina	Leña	Combustión	Calderas	240.000Kwh
Chile	Residuos industriales de madera y celulosa	Combustión	Caldera y turbo generador	-
Chile-nueva aldea	Residuos provenientes de los aserraderos	Combustión	Caldera de alta presión	-
Cuba	Residuos provenientes de las plantaciones energéticas	Combustión	Caldera de lecho fluidizado	5Mw
Honduras	Residuos de aserraderos	Combustión	Caldera	-
Canadá	Residuos de aserraderos	Combustión	Parrilla	80Mw
China	Biomasa proveniente de los sectores agrícolas y forestales	Gasificación	Lecho fluidizado	1,2 Mwe

Fuente. Elaboración propia a partir la revisión documental

En el 2012 el Instituto Forestal Latinoamericano IFLA realizó un trabajo denominado "Inventario, caracterización y evaluación de biomasa residual seca de origen forestal, como fuente alternativa para la generación de energía eléctrica", por encargo del Ministerio del Poder Popular de Energía –MpPPE. En este estudio se presentan datos en cuanto a disponibilidad y destino de los residuos forestales generados en los aserraderos adscritos al Ministerio del Poder Popular de las Industrias Básicas en Venezuela, como primer paso para evaluar el uso potencial de los mismos para la generación de energía eléctrica y térmica en el país. El mencionado estudio expresa que en Venezuela, para el 2012, se registraban 106 aserraderos que se dedican a la industria del aserrío donde se procesan las diferentes especies maderables para consumo nacional y regional, los cuales se encuentran distribuidos en todo el país (Figura 4.1) y generan aproximadamente 118.585 ton/año, la mayor producción se encuentra en el Oriente del País. Los residuos forestales generados son similares en la mayoría de los casos: corteza (capa externa de la madera), aserrín (partículas de tamaño pequeño), viruta (cintas delgadas), despuntes (residuos de diverso tamaño) y varillas. Los pequeños y medianos aserraderos generalmente no utilizan este recurso para su beneficio, normalmente los queman; en otros casos los botan en los vertederos, algunas empresas los utilizan para recuperar tableros y machihembrado, las costaneras son usadas para fabricar traviesa. Los residuos forestales como el aserrín, astillas y la viruta son donadas a otras personas o empresas para darles uso, como por ejemplo granjas de pollo, caballerizas, talleres mecánicos, criaderos de cochinos y construcción de viviendas. Sin embargo un alto porcentaje de ellos se dejan en el patio de las empresas al aire libre como se observa en la Figura 4.2

Licencia Creative Commons:

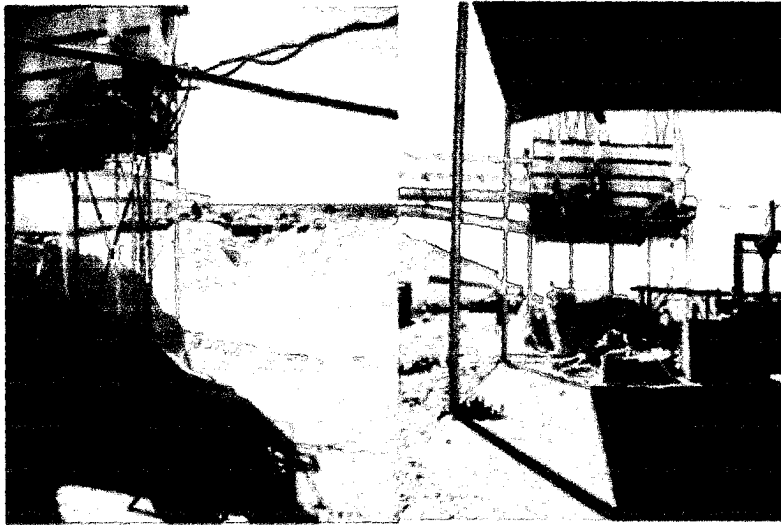
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Fuente: IFLA (2012)

Figura 4.1. Concentración de aserraderos en Venezuela (2012)

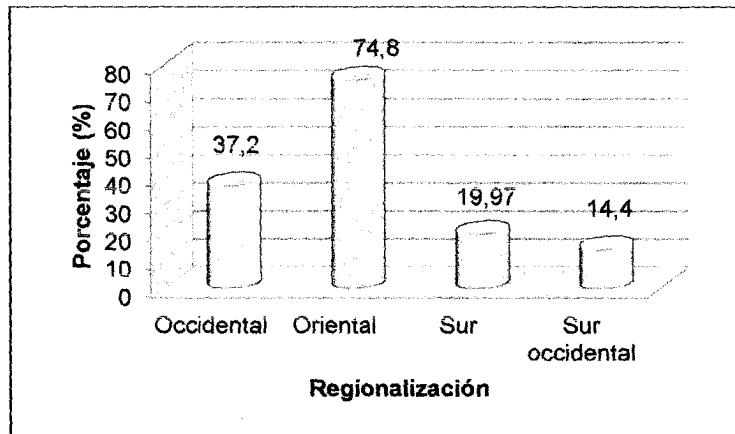
Licencia Creative Commons:
 Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)



Fuente. IFLA (2012)

Figura 4.2. Residuos dejados en campo en aserraderos de la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas

La cuantificación de los residuos forestales se realizó en los distintos aserraderos, distribuidos en las siguientes regiones: occidental, oriental, sur y sur occidental. En la Figura 4.3 se puede observar que la mayor generación de residuos forestales se encuentra en la región oriental, en los estados Anzoátegui y Monagas con un 74,8%; seguida de la región occidental con un 37,2%, la región sur con una generación de residuos de 19,97% y para finalizar la región sur-occidental genera solo el 14,4%.

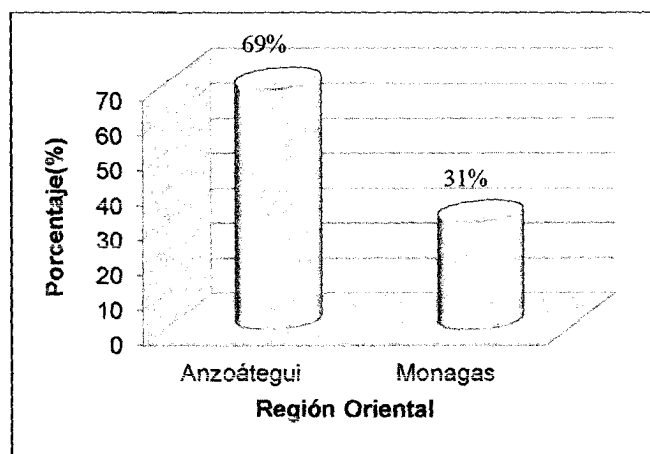


Fuente. Elaboración propia a partir de datos IFLA (2012)

Figura 4.3. Generación de residuos por regiones

Los estados Monagas y Anzoátegui, cuentan con treinta y seis aserraderos que producen 88.795 ton/año de residuos forestales. En la Figura 4.4 se observa que el 69% del total de residuos forestales los generan los aserraderos del estado Anzoátegui y el 31% del estado Monagas. Estos aserraderos procesan distintas especies como: pino Caribe *Pinus caribaea*, algarrobo *Ceratonia siliqua* L, eucalipto *Eucalyptus globulus*, zapatero *Pachygrapsus marmoratus*, entre otras.

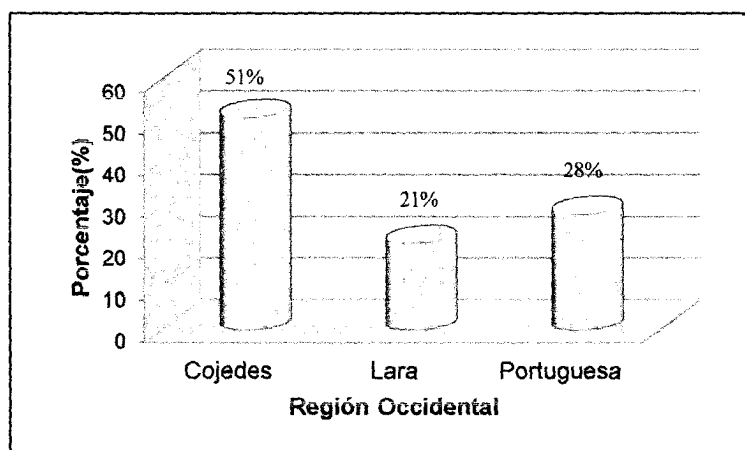
Licencia Creative Commons:



Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2.012)
Figura 4.4- Generación de residuos forestales en la región oriental

Al sur del país, en el estado Bolívar, se encuentran treinta y cuatro aserraderos, para una generación de residuos sólidos forestales de 23.683 ton/año. Los residuos generados son costaneras, aserrín, viruta, astillas provenientes de distintas especies. Dentro de estas se tienen: aigarrobo *Ceratoniasiliqua* L, zapatero *Pachygrapsusmammoratus*, entre otras.

Por otro lado, en la región occidental, conformada por los estados Lara, Cojedes y Portuguesa, se localizan un total de quince aserraderos, los cuales tienen una generación de residuos sólidos forestales de aproximadamente 4.413 ton/ año. Como se puede observar en la Figura 4.5, el 51% de los residuos generados proviene del estado Cojedes, seguido del estado Portuguesa con un 28% y el estado Lara con un 21%.



Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2.012)
Figura 4.5- Generación de residuos forestales en la región Occidental

En la región sur occidental en el estado Barinas se encuentran veinte aserraderos con un total 1.704 ton/año de generación de residuos forestales. Entre las especies procesadas se tienen teca *Tectonagrandis*Linn F, melina *Gmelinaarborea*Roxb, saquí- saquí *Bombacopsisquinata* y mijao *Anacardiumexcelsum*, entre otros.

Los resultados obtenidos en el diagnóstico reflejan que en Venezuela se genera una cantidad considerable de residuos forestales provenientes de los aserraderos, La mayor parte se pierden, al quedarse acumulados en las adyacencias de las distintas empresas. De ser potencialmente utilizables, las 118.595 ton/año de residuos forestales servirían para generar aproximadamente 14 Mw de energía beneficiando aproximadamente 100.000 viviendas Sin embargo, como veremos a continuación, se deben tomar en consideración aspectos como son: concentración de aserraderos en un área geográfica determinada, demanda energética requerida y características de los residuos entre otros.

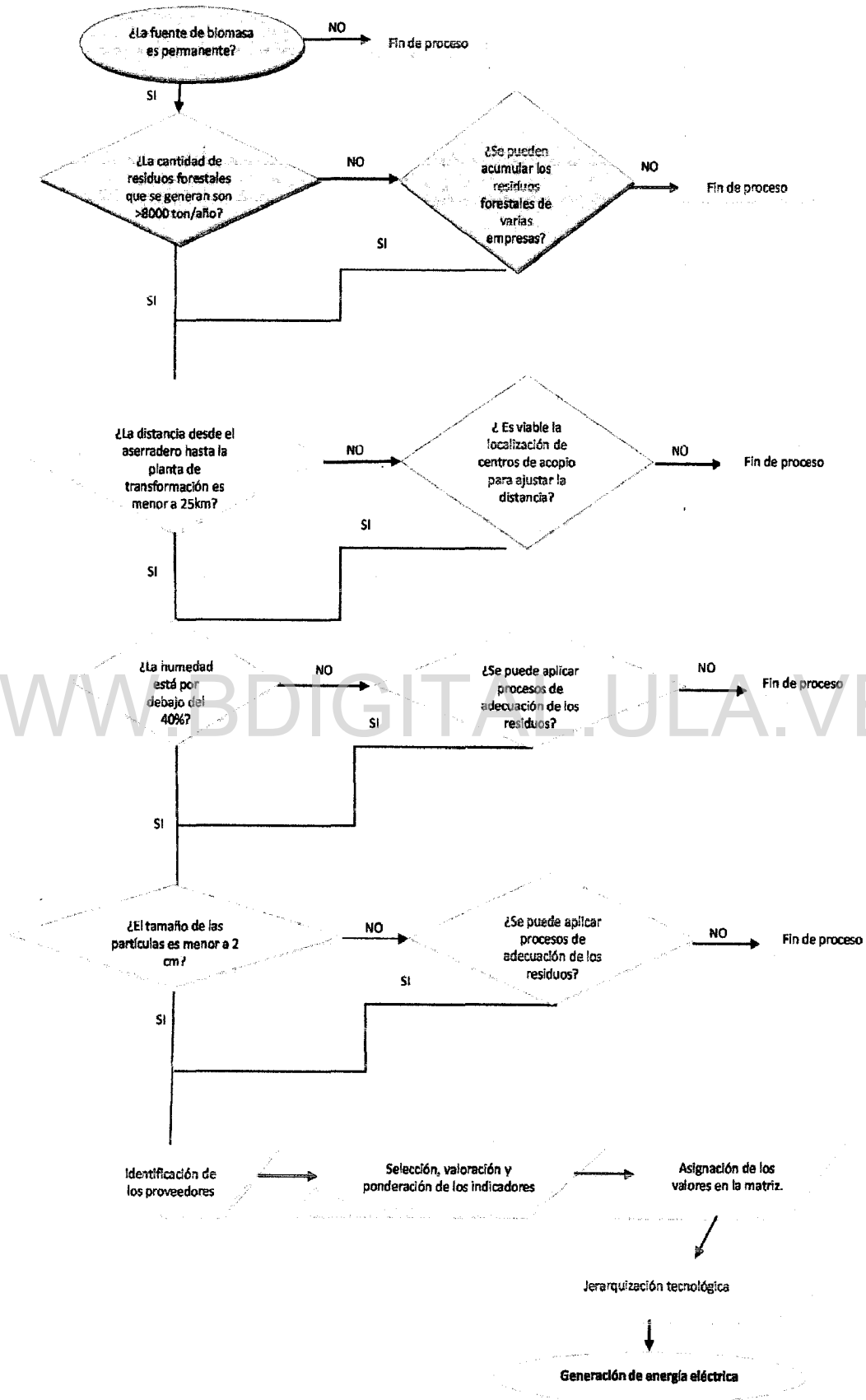
4.3 Procedimiento para la jerarquización de las tecnologías

En la tercera fase de la investigación se desarrolló el procedimiento que permite jerarquizar una serie de tecnologías para el aprovechamiento energético de residuos forestales en un caso determinado. Para ello se diseñó el flujograma de decisión de la Figura 4.6, el cual muestra la siguiente secuencia de pasos: primero la identificación y evaluación de los criterios de exclusión, segundo se identificaron las tecnologías y los proveedores de las mismas, seguido de la identificación, selección, valoración y ponderación de los criterios de gestión que finalmente permitan realizar la jerarquización de las tecnologías a través de una matriz de decisión. A continuación se describen los pasos

4.3.1 Identificación y evaluación de los criterios de exclusión

La identificación y la evaluación se realizaron, con el objetivo de evaluar la viabilidad del aprovechamiento energético de los residuos forestales se desarrollan los denominados criterios de exclusión, (ver Figura 4.6), los cuales se describen a continuación. De ser positivos los resultados, se puede continuar con los siguientes pasos:

4.3.1.1 Fuente de biomasa. La presencia permanente del residuo forestal a utilizar como materia prima combustible, es uno de los elementos fundamentales que debe considerarse a la hora de plantear la instalación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales.



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura 4.6- Flujoograma de decisión

Fuente. Elaboración propia

4.3.1.2 Cantidad de biomasa. La cantidad mínima de residuos forestales debe ser 8000 ton/año, siendo esta la cantidad necesaria para generar 1Mw de energía eléctrica según Gómez (2009). En caso que la cantidad de residuos sea menor a 8000 ton/año se propone la acumulación de estos provenientes de distintos aserraderos.

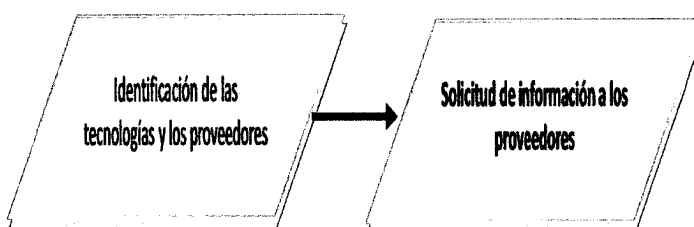
4.3.1.3 Distancia del aserradero a la planta de generación de energía. La distancia máxima debe ser de 25 km desde el o los aserraderos hasta la planta de generación de energía. Esta distancia se tomó de referencia de otros autores (Agencia Extremeña de la Energía, 2009), que asumen que si la distancia es mayor se incrementarían notablemente los costos de transporte. Si la distancia es mayor a 25 km, se recomienda establecer uno o más centros de acopios intermedios.

4.3.1.4 Características de la biomasa: dentro de las características preliminares de los residuos forestales que se deben evaluar, se tienen la humedad y el tamaño de las partículas, y se debe tomar como referencia lo siguiente:

- **Humedad.** Los residuos forestales para ser utilizados como combustible para la generación de energía deben tener una humedad por debajo del 40%. En el caso que este valor se encuentre por encima del 40% se deben aplicar pre-tratamientos como el secado de los residuos.
- **Tamaño de las partículas.** El tamaño de las partículas recomendado es de 2 cm de longitud máxima. Si el tamaño de los residuos es mayor se debe acondicionar la biomasa para reducir la granulometría, a través de procesos de acondicionamiento como triturado, astillado y compactación.

4.3.2 Identificación de tecnologías y proveedores

Una vez que se establezca la viabilidad del aprovechamiento energético de los residuos forestales, se procede a la identificación de los proveedores de las tecnologías que son utilizadas para la conversión energética de los mismos, con la finalidad de recabar información acerca de las características propias de cada tecnología, que permita evaluarlas y asignar los valores para cada indicador (V) en la matriz de puntuación. Como se observa en la Figura 4.7 una vez identificados los proveedores se hace la solicitud de información sobre la tecnología o los paquetes tecnológicos que ofrecen.



Fuente. Elaboración propia

Figura 4.7- Identificación de los proveedores

4.3.3 Identificación de los criterios de gestión. Selección, valoración y ponderación de los indicadores de gestión.

Para la selección de los criterios de gestión definidos en esta investigación (sociales, técnicos, ambientales y económicos), así como los indicadores a ser utilizados para valorar cada una de las tecnologías utilizadas en el proceso de generación de energía a partir de residuos forestales a ser evaluadas, se tomó como referencia la información usualmente disponible para cada tecnología y estudios hechos por otros investigadores como: Martínez, (2009), Toscano, (2009) y Sogis y otros (2010), quienes en sus trabajos consideraron distintos indicadores como se muestran en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. Indicadores de selección de tecnologías

Indicadores de selección de tecnologías		
Investigador	Título	Indicadores
Martínez, (2009) Girona-España	Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. España	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia del aserradero a la planta de generación de energía. • Demanda eléctrica requerida. • Coexistencia del mercado actual de la biomasa. • Costos sociales y costos ambientales. • Eficiencia de la tecnología.
Instituto Tecnológico de El Salto, y The Pemina Institute (2010)	Evaluación de la madera, la biomasa y el carbón de bosques y las tecnologías potenciales de producción de energía a partir de biomasa en Durango, México	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones de gases • Capacidad nominal. • Niveles de ruido
Toscano, (2009)	Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa. Guayaquil-Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de cenizas • Poder Calorífico • Contenido de la materia volátil. • Contenido de humedad. • Emisión de gases • Capacidad nominal

Fuente. Elaboración propia

En esta investigación los indicadores seleccionados se agruparon por cada criterio de gestión como se tienen en la Tabla 4.2. Estos indicadores se sometieron a una consulta de expertos con el objetivo de conocer desde su perspectiva como expertos en el área, el nivel de importancia que le asignarían a cada uno de los indicadores seleccionados en un proceso de selección de tecnologías, en función de la siguiente escala: Importancia baja=1, Importancia media=2 e Importancia alta=3. De esta manera se obtuvo la ponderación (P) de los indicadores. Para esta consulta fueron seleccionados un total de 56 expertos, de los cuales sólo se recibieron 25 respuestas.

El resultado de promediar los valores obtenidos en esta consulta se presenta en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Criterios de gestión e indicadores seleccionados

Ponderación los indicadores		
Criterios	Indicadores	Ponderación
Sociales	Población Servida	0,13
Técnicos	Poder calorífico de la biomasa	0,12
	Capacidad nominal	0,13
	Porcentaje de las cenizas	0,11
	Eficiencia energética de la tecnología	0,14
Ambientales	Emisiones de monóxido de carbono CO ₂ (g/m ³)	0,14
	Emisiones de óxido de nitrógeno NOx (g/m ³)	0,14
	Emisiones de dióxido de azufre (g/m ³)	0,14
	Emisiones de sulfuro de hidrógeno (g/m ³)	0,14
	Niveles de ruido	0,1
Financieros	Inversión de capital	0,14

Fuente. Elaboración propia

En este paso se establece también un sistema de evaluación de tecnologías a través de la asignación de rangos y valores a cada uno de los indicadores de cada criterio de gestión, en función a la información disponible de cada tecnología y de las características del área de estudio, tal como se puede observar desde la Tabla 4.4 hasta la Tabla 4.14 que se presentan a continuación. La asignación de los valores para cada rango establecido en cada uno de los indicadores se realizó tomando una escala nominal donde 3 es el valor más óptimo, 2 mediamente óptimo y 1 deficiente.

A continuación se describen los criterios de gestión seleccionados:

4.3.3.1 Criterios sociales.

Dentro de los criterios sociales se tomó en consideración la población servida, indicador al cual se le asignaron los rangos y valores que se muestran en la Tabla 4.4

Tabla 4. 4- Población Servida

Población servida		
Indicador/pregunta	¿Cuál es el número personas beneficiada por la generación de energía?	Valor
Rangos	Menor a 100	1
	100-500	2
	> 500	3
Descripción	Este indicador se refiere al número de personas que pueden ser beneficiadas de la generación de energía. Mientras mayor es el número de beneficiados, mejor es la tecnología.	

Fuente. Elaboración propia

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4.3.3.1 Criterios técnicos.

Dentro de los criterios técnicos se tienen ciertas características de los residuos forestales como el poder calorífico y el porcentaje de cenizas, así como aspectos relacionados a la tecnología como capacidad nominal y la eficiencia energética. En las Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se muestran los valores y los rangos asignados para cada uno de estos indicadores.

Tabla 4.5- Poder calorífico del residuo

Poder calorífico del residuo		
Indicador/ pregunta	Dentro de las características energéticas ¿en qué parámetros se debe encontrar el poder calorífico (KJ/ Kg) recomendado?	Valor
Rangos	Bajo <5000	1
	Medio 6 000-15000	2
	Alto >15000	3
Descripción	Este indicador se refiere a la cantidad de calor desprendido por el residuo después de la combustión completa. A mayor poder calorífico, es posible tener un mayor aprovechamiento energético.	

Fuente. Valter F. y Antonini E (2008)

Tabla 4.6- Capacidad nominal de la tecnología

Capacidad nominal		
Indicador/pregunta	¿Cuál es capacidad nominal de generación (Mw)?	Valor
Rangos	Menor a 1Mw	1
	1-5 Mw	2
	> 5Mw	3
Descripción	Este indicador se refiere a la capacidad de generación energía de la tecnología. Mientras mayor es la capacidad nominal, mejor será la tecnología.	

Fuente. Sogis y otros (2010)

Tabla 4.7- Porcentaje de las cenizas

Composición de las cenizas		
Indicador/pregunta	Dentro de las características físicas ¿cuál es el porcentaje de cenizas que posee el combustible?	Valor
Rangos	>12 %	1
	4-12	2
	<4%	3
Descripción	Este indicador se refiere al porcentaje de cenizas que emiten los residuos que serán utilizados como combustible. Mientras mayor es el porcentaje de cenizas mayor será la generación de escorias.	

Fuente. Toscano (2009)

Tabla 4.8- Eficiencia energética de la tecnología

Eficiencia energética de la tecnología		
Indicador/pregunta	¿Cuál es la eficiencia energética de la tecnología?	Valor
Rangos	<30 %	1
	30-75	2
	>75%	3
Descripción	Este indicador se refiere a la eficiencia energética de la tecnología, mientras mayor sea la eficiencia mayor es la efectividad tecnológica.	

Fuente. (Toscano, 2009)

4.3.3.3 Criterios Ambientales.

Dentro de los criterios ambientales se tomaron en consideración aquellos relacionados con las emisiones a la atmósfera, dentro de las cuales se tienen: emisiones de monóxido de carbono CO₂ (g/m³), óxido de nitrógeno NO_x (g/m³), dióxido de azufre SO₂ (g/m³), sulfuro de hidrógeno H₂S (g/m³) y ruido. En la legislación ambiental venezolana existen normas como las Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica (Decreto 638) y Normas sobre el control de la contaminación generada por ruido para regular las emisiones (Decreto 2217), que establecen límites de calidad del aire, en función de los cuales se establecieron los valores y rangos de los indicadores que se muestran en las Tablas 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13

Tablas 4.9- Emisiones de monóxido de carbono CO₂ (g/m³)

Emisiones de monóxido de carbono CO ₂ (g/m ³)		
Indicador/pregunta	¿Cuáles deben ser las emisiones de monóxido de carbono al aire durante el proceso de conversión?	Valor
Rangos	Baja < 10.000	3
	Media 10.000-40.000	2
	Alta >40.000	1
Descripción	Este indicador se refiere a la emisión de CO ₂ durante el proceso de conversión de residuos forestales en energía. La magnitud de esta emisión permitirá definir la tecnología más óptima que contribuya a la conservación del ambiente.	

Fuente. Adaptación a partir del Decreto 638 de la República Bolivariana de Venezuela (1996)

Tablas 4.10- Emisiones de óxido de nitrógeno NO_x (g/m³)

Emisiones de óxido de nitrógeno NO _x (g/m ³)		
Indicador/pregunta	¿Cuáles deben ser las emisiones de óxido de nitrógeno (g/m ³) al aire durante el proceso de conversión?	Valor
Rangos	Baja < 1	3
	Media 1-149	2
	Alta >150	1
Descripción	Este indicador se refiere a la emisión de óxidos de nitrógeno NO _x (g/m ³) durante el proceso de conversión de residuos forestales en energía. La magnitud de esta emisión permitirá definir la tecnología más óptima que contribuya a la conservación del ambiente.	

Fuente. Adaptación a partir del Decreto 638 de la República Bolivariana de Venezuela (1996)

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tablas 4.11- Emisiones de dióxido de azufre SO₂ (g/m³)

Emisiones de dióxido de azufre SO ₂ (g/m ³)		
Indicador/pregunta	¿Cuáles deben ser las emisiones de dióxido de azufre al aire durante el proceso de conversión?	Valor
Rangos	Baja <100	3
	Media 100-365	2
	Alta >365	1
Descripción	Este indicador se refiere a la emisión de SO ₂ durante el proceso de conversión de residuos forestales en energía. La magnitud de esta emisión permitirá definir la tecnología más óptima que contribuya a la conservación del ambiente.	

Fuente. Adaptación a partir del Decreto 638 de la República Bolivariana de Venezuela (1996)

Tablas 4.12- Emisiones de sulfuro de hidrógeno H₂S (g/m³)

Emisiones de sulfuro de hidrógeno H ₂ S (g/m ³)		
Indicador/pregunta	¿Cuáles deben ser las emisiones de sulfuro de hidrógeno al aire durante el proceso de conversión?	Valor
Rangos	Baja < 5	3
	Media 5-19	2
	Alta >20	1
Descripción	Este indicador se refiere a la emisión de sulfuro de hidrógeno H ₂ S durante el proceso de conversión de residuos forestales en energía. La magnitud de esta emisión permitirá definir la tecnología más óptima que contribuya a la conservación del ambiente.	

Fuente. Adaptación a partir de Normas de calidad del aire y control de la contaminación atmosféricas (1995)

Tablas 4.13- Generación de ruido

Nivel de ruido		
Indicador/pregunta	¿Cuál es el nivel de ruido (dBA) permitido generado en el proceso de conversión?	Valor
Rangos	< 60dBA	3
	61-130dBA	2
	>131dBA	1
Justificación	Este indicador se refiere al nivel de ruido generado durante el proceso de conversión. A menor ruido, mejor es la tecnología.	

Fuente. Adaptación a partir Normas sobre el control de la contaminación generada por el ruido (1992)

4.3.3.4. Criterios financieros

En esta investigación se tomó como criterio económico la inversión requerida en miles de dólares (M\$) para adquirir los equipos tecnológicos, como también los costos generados por el mantenimiento. En la Tabla 4.14 se tienen los rangos definidos y los valores asignados.

Tablas 4.14. Inversión (M\$) requerida

Inversión (M\$) requerida		
Indicador/pregunta	¿En cuánto puede oscilar la inversión millones de dólares (M\$) requerida para adquirir la tecnología que se utilizara en la generación de energía?	Valor
Rangos	< 15	3
	16-30	2
	>31	1
Justificación	Este indicador se refiere a los gastos de inversión en miles de dólares (M\$) para adquirir el equipamiento tecnológico requerido, como también los costos generados por el mantenimiento	

Fuente. Adaptación a partir de cálculos de Dirección de Energías Alternativas Ministerio del Poder popular de Energía y Petróleo (2013)

4.3.4 Jerarquización de las tecnologías. Una vez obtenida la información de los proveedores que permite asignar los valores para cada indicador (V), más la ponderación de cada uno de los indicadores obtenida de la consulta de expertos (P), se procede a la construcción de la matriz de decisión que se muestra en la Tabla 4.15, de la siguiente manera.

- Se colocan en las filas los criterios de gestión, con cada uno de los indicadores respectivos.
- En la tercera columna se coloca la ponderación (P) de cada uno de estos indicadores de gestión, obtenida de la consulta de expertos.
- Para cada tecnología se procede a la evaluación de los indicadores y la asignación de valores (V), realizada una vez obtenida la información de los proveedores de las tecnologías. Anotar en la columna (VxP) el resultado de multiplicar el valor de la columna V por el valor de ponderación P de cada indicador.
- Se realiza un sumatoria de los valores (VxP) de todos los indicadores para cada una de las tecnologías evaluadas y se coloca en la fila **Total**. El orden de prioridad (jerarquización) queda establecido en función de la puntuación total que alcanza cada tecnología. En este caso el mayor valor indica **mejor** aptitud o condición más favorable.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla 4.15- Matriz de decisión

Matriz de decisión								
Criterios		Ponderación	Tecno 1		Tecno 2		Tecno 3	
			V	VXP	V	VXP	V	VXP
Social	Población Servida	0,128						
Técnicos	Poder calorífico de la biomasa	0,116						
	Capacidad nominal	0,126						
	Porcentaje de cenizas	0,11						
	Eficiencia energética de la tecnología	0,138						
Ambientales	Emisiones de monóxido de carbono CO ₂ (g/m ³)	0,136						
	Emisiones de óxido de nitrógeno NO _x (g/m ³)	0,136						
	Emisiones de dióxido de azufre (g/m ³)	0,136						
	Emisiones de sulfuro de hidrógeno (g/m ³)	0,136						
	Nivel de ruido	0,102						
Financieros	Inversión (M\$) requerida	0,140						
TOTAL (Σ)								
ORDEN DE PRIORIDAD.								

Fuente. Elaboración propia

4.4 Aplicación a un caso de estudio. A fin de validar el proceso metodológico plasmado en el flujograma de decisión, se desarrolló el caso de estudio para la parroquia Chaguaramas del municipio Libertador del estado Monagas, como se muestra en la Figura 4.8, donde se generaban para el 2012 el 74,8% de los residuos sólidos forestales del País. En el municipio Libertador se encuentran la mayor concentración de aserraderos de los cuales el 70% se encuentran en el municipio Libertador

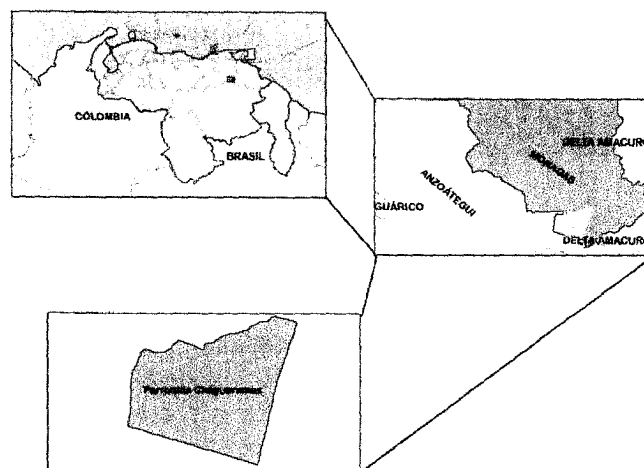


Figura 4.8. Localización del área de estudio

4.4.1 Aspectos generales

El municipio Libertador se localiza al suroeste del Estado Monagas, limitando por el Norte con Maturín, al Sur con los municipios Uracoa y Sotillo y el Estado Anzoátegui, al Este con el municipio Uracoa y el Estado Delta Amacuro, al Oeste limita con el municipio Maturín y el Estado Anzoátegui. Se encuentra localizado dentro de las coordenadas 494.902 mN - 933.969 mE y 576.879 mN-1.043.889 mE aproximadamente, tiene una temperatura anual de 27 °C con una precipitación de promedio anual de 1.000 mm. Este municipio cuenta según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011) con 23.161 habitantes distribuida en cuatro parroquias: Las Alhuacas, Tabasca, Temblador (Libertador) y Chaguaramas. Esta última tiene una población de 3.380 habitantes y aproximadamente 845 viviendas.

En el municipio Libertador se desarrollan distintas actividades económicas como: agricultura, forestal e industrial resaltando en esta última la actividad forestal maderera. Este municipio cuenta con un sistema de empresas de transformación primaria conocidas como aserraderos donde se producen machihembrado, aserrios, pulpa y cartón. La principal madera procesada es el Pino Caribe (*Pinus caribaea*) proveniente de las plantaciones forestales. Esta actividad produce residuos como: costaneras, aserrín, despuntes, varillas, virutas. La ausencia de planes de manejo de estos residuos ha traído como consecuencia la transformación del espacio adyacente en donde se observa la acumulación de residuos que son dejados al aire libre (ver Figura 4.9).



Fuente. IFLA (2012)

Figura 4.9- Residuos acumulados en los aserraderos de la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas

En la parroquia Chaguaramas del municipio Libertador se localizan diecinueve (19) aserraderos, tal como se muestra en la Figura 4.10. Estos se encuentran relativamente cerca uno de otro, con distancias que oscilan entre 1 y 3 km. Según IFLA (2012) los aserraderos generan aproximadamente 25.168 ton/año de residuos forestales, siendo los mayores productores los siguientes aserraderos: El Nebuloso con 3.441 (ton/año) seguido de la Industria Madereras Ramos 3.425 (ton/año), Aserradero PROFORCA 3.114 (ton/año), Palett Express 2.936 (ton/año), y servicios Astillas del sur 1.918 (ton/año) entre otros.

Licencia Creative Commons:

4.4.2 Características físico químicas de los residuos sólidos forestales:

La Dirección de Energías Alternativas Ministerio del Poder Popular de Energía y Petróleo (2013) realizó análisis a muestras de residuos de las provenientes de los aserraderos de la parroquia Chaguaramas. De estas muestras de laboratorio se obtuvieron algunos datos referenciales de los residuos como: aserrín, corteza y astillas. Dentro de las características físico- químicas evaluadas se tienen humedad, contenido de cenizas, poder Calorífico, entre otros y se muestran en la Tabla 4.16. El tamaño de las partículas se encuentran entre 0.1 cm y 2cm.

Tabla 4.16- Características físico químicas de los residuos forestales

Características físico químicas de los residuos			
Valores	Aserrín	Corteza	Astillas
Contenido de cenizas	0,01	0,06	0,28
Nitrógeno Total	80,20%	91,67%	82,49%
Humedad (%)	19,32%	6,34%	17,91%
Cloruro	57	5,83	147
Azufre (%)	0,01	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Poder Calorífico PCS Kj/Kg	1653	965	1158

Fuente. Dirección de Energías Alternativas Ministerio del Poder popular de Energía y Petróleo (2013)

4.4.3 Aplicación de la metodología. Para realizar la jerarquización de las tecnologías que pueden ser utilizadas en el proceso de generación de energía a partir de los residuos forestales en la parroquia Chaguaramas del estado Monagas, se procedió a seguir los lineamientos establecidos en el flujograma de decisión propuesto en esta investigación. Los resultados obtenidos se describen a continuación:

4.4.3.1 Evaluación de los criterios de exclusión

- Se asume que los residuos provenientes de los aserraderos se producen de manera constante en virtud que en Chaguaramas se desarrolla la actividad industrial maderera durante todo el año. Estos se encuentran distribuidos en la parroquia Chaguaramas como se observa en la Figura 4.10. Por tanto se continúa con el siguiente criterio de exclusión.
- En los aserraderos registrados en la parroquia se produce un total de 25.168 ton/año. Sin embargo la producción máxima individual por aserradero es de 3.441 ton/año. Por lo tanto se propone agrupar varios aserraderos para reunir los residuos y llegar a las 8000 ton/año que garanticen el funcionamiento de una planta. En este caso los aserraderos se agruparon en tres grupos representados espacialmente como se muestra en la Figura 4.11. Por tanto se continúa con el siguiente criterio.
- La distancia máxima para localizar la planta de generación debe ser de 25 km desde cada empresa maderera. En este sentido, en el caso de ser necesario agrupar más de un aserradero para cumplir con la producción mínima de 8000 ton/año del paso anterior, tal como es el caso en Chaguaramas, se aplica un radio de 25 km a cada uno

de los aserraderos, buscando el área común de intersección de estos círculos para ubicar la planta (si alguno de los aserraderos agrupados se encuentra a más de 25 km de los demás y por lo tanto no se logra la intersección de los círculos, se debe ubicar un centro de acopio) ver Figura 4.11. Para el caso de Chaguaramas se aplicó un radio de 25 km a cada uno de los aserraderos dentro de cada uno de los tres grupos establecidos en el paso anterior; con el objetivo de encontrar el área de ubicación de tres plantas de generación de energía (una por cada grupo). Sin embargo, en Chaguaramas los diecinueve (19) aserraderos se encuentran relativamente cerca uno de los otros, por lo que los radios de 25 km trazados alrededor de cada uno de ellos se superponen, tal como se muestra en la Figura 4.12, lo que indica que los aserraderos presentan más o menos la misma área en común para localizar una sola planta en lugar de tres, utilizando como materia prima los residuos de los 19 aserraderos en total. Una vez evaluado este paso se continúa con el siguiente criterio de exclusión.

- Dentro de las características físicas de los residuos se tienen: la humedad y el tamaño de los residuos. En este caso la humedad de los residuos sólidos oscila entre 6 y 20 %, es decir está por debajo del 40%. El tamaño los residuos como el aserrín son menores a 2 cm. Para las cortezas y costaneras mayores a este diámetro se debe acondicionar los residuos para disminuir el tamaño. Se continúa con el siguiente paso.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

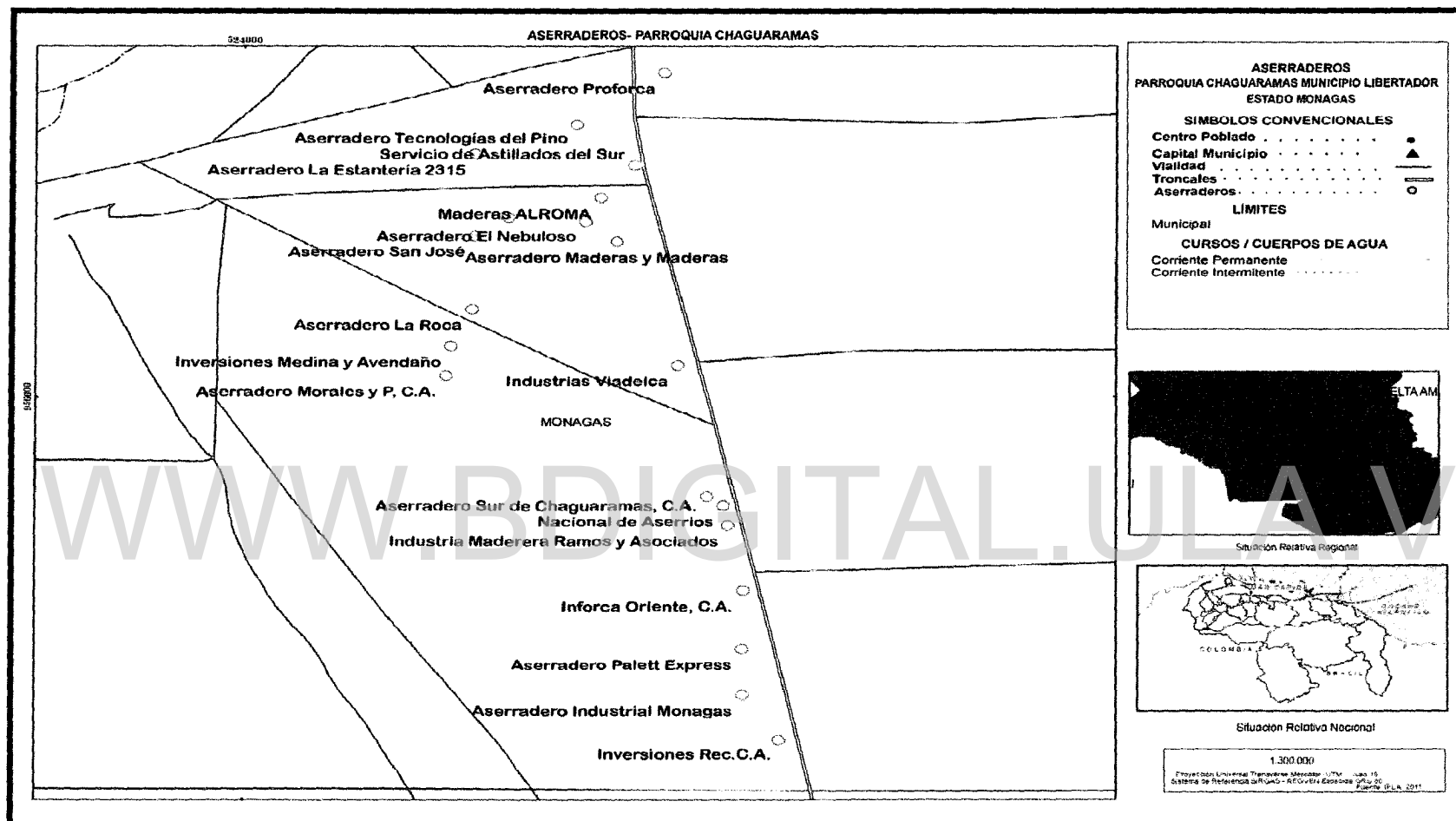
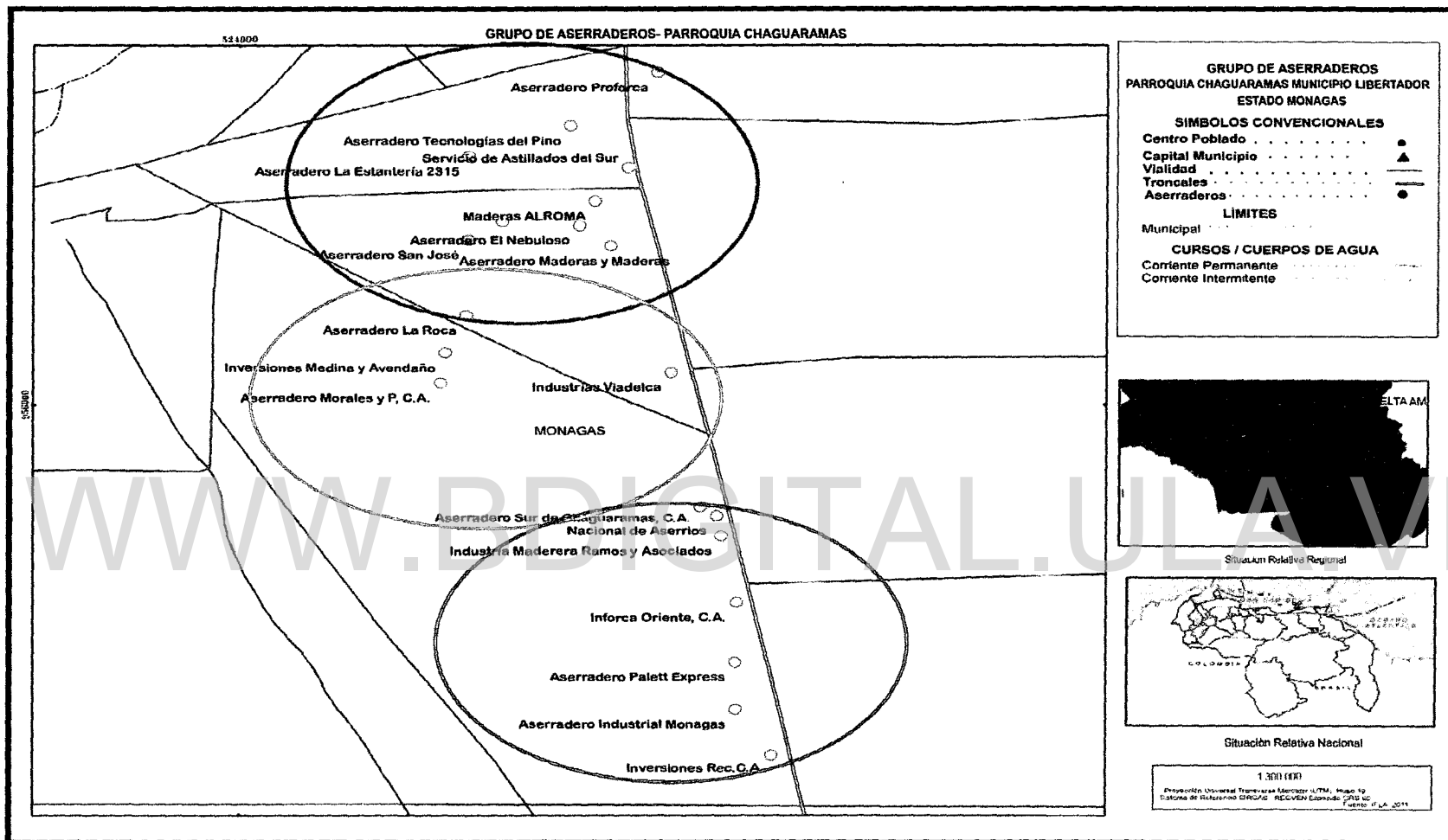
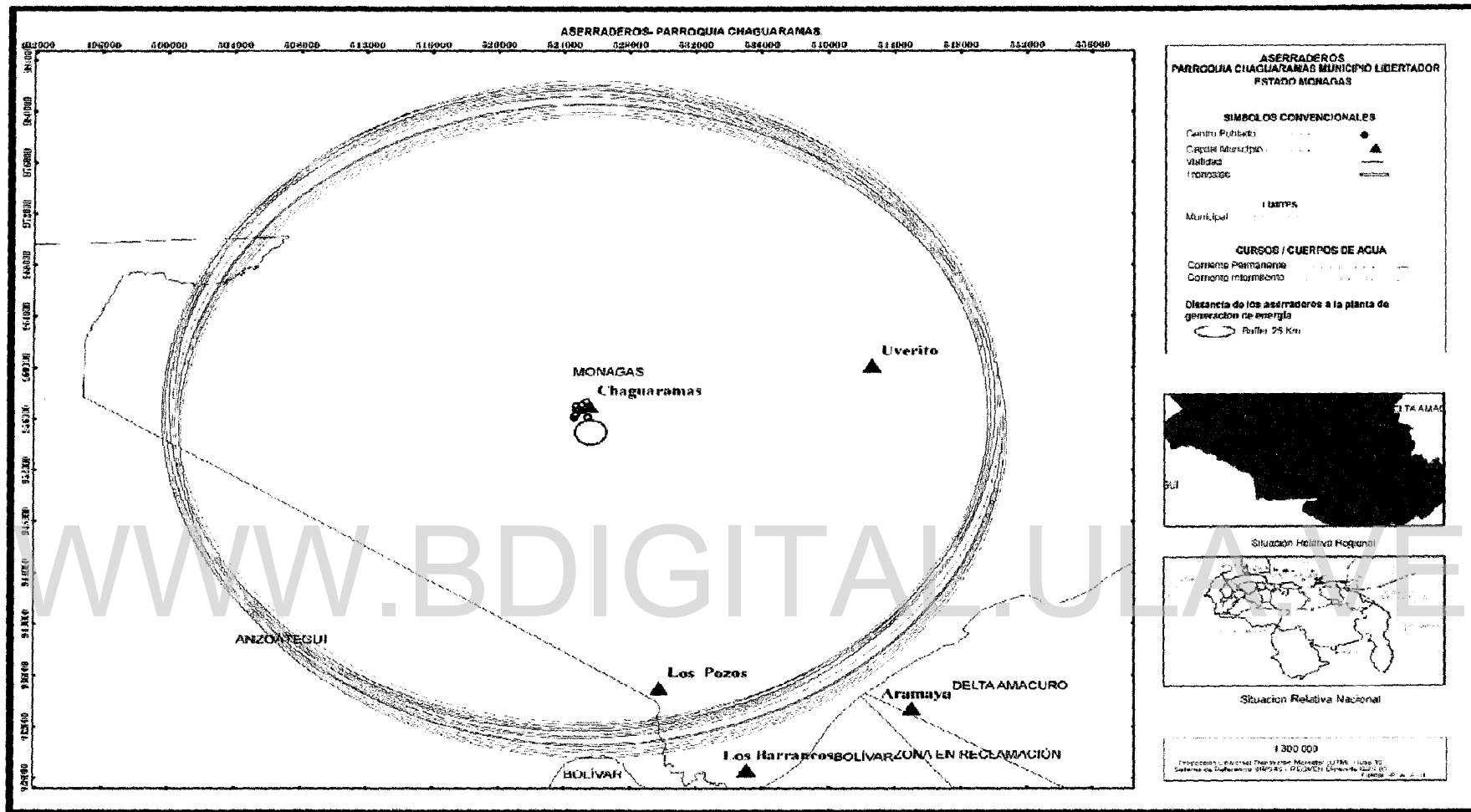


Figura 4.10- Distribución de los aserraderos en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas

Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2012)



Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2012)
 Figura 4.11-.Grupo de aserraderos agrupados en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas



Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2012)
 Figura 4.12- Área común de los aserraderos en la parroquia Chaguaramas municipio Libertador estado Monagas

4.4.1.2 Identificación de las tecnologías y proveedores

Dándole continuidad al flujograma de decisión se identificaron los proveedores de tecnologías a escala comercial que utilicen procesos de combustión para la generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales, por ser esta la más utilizada a nivel mundial, con la finalidad de solicitar la información necesaria para poder realizar la asignación de valores a cada uno de los criterios de gestión. Las tecnologías de combustión identificadas se muestran en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17. Tecnologías de combustión identificadas

Tecnologías de combustión identificadas		
Tecnología	Proveedor	Descripción
Calderas modelo CmT/F	Grupo Nova Energía	Este tipo de caldera tiene una potencia hasta de 5,8 Mw para la producción de agua caliente y vapor, tiene una eficiencia de 60%. Utiliza biomasa sólida con humedad menor al 60%.
Calderas de la biomasa	Henan Yuanda Boiler Co., Ltd	Calderas de la biomasa el combustible está certificada bajo las normas ISO9001-2000. Utiliza biomasa, su estructura es horizontal, de tres pasos y el tubo de agua de fuego. Todo el proceso es compacto y científico. Están bajo la certificación ISO, de alta calidad de la caldera. La eficiencia de calor es de 81%, el consumo varía en función del modelo y va desde 118 hasta los 645 kg/h
Caldera modelo Biotec.	Grupo Nova Energía	Tiene una potencia hasta 4 Mw para la producción de agua caliente y vapor. Su principal característica es la combustión de combustibles heterogéneos - con altos grados de humedad y granulometría variable. Este modelo ofrece tres tipos de quemadores: Este tipo de caldera maneja altos niveles de temperatura lo que permite realizar la combustión completa y minimizar las emisiones de los contaminantes. La eficiencia energética es de 85%
Caldera modelo EOS.	Grupo Nova Energía	Tiene potencia entre los 170 a 5800 kW es adecuada para la producción de agua caliente, agua sobrecalentada y vapor. La caldera está diseñada para la combustión de biomasa con contenido de humedad hasta el 75% sobre base seca y particularmente adaptada a biomasa con elevado contenido de cenizas. La eficiencia es mayor a 93% la limpieza es automática.
Caldera HERZ. Modelo BIOFIRE	ERORBI S.L	Este tipo de caldera cuenta con potencias que van desde 1 Mw hasta 5Mw. Permite el uso de distintos tipos de combustibles como astillas. La alimentación es automática. Tienen un sistema de limpieza automatizada y un elevado rendimiento, una cámara de combustión con un sistema integrado de limpieza del quemador con parilla, vigilancia automática de combustión y de los gases de salida, sistema de extracción de cenizas. Tiene una eficiencia de 70%

Fuente. Elaboración propia a partir de la revisión realizada

4.4.1.3 Asignación de los valores a los indicadores de gestión en la matriz de decisión y jerarquización tecnológica

Una vez identificadas las tecnologías se procedió a asignarle los valores (V) a cada uno de los indicadores de gestión, en función de las características generales de la parroquia Chaguaramas y de las tecnologías seleccionadas, tal como se describe a continuación, para el caso de la asignación de valores para la Caldera Herz

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

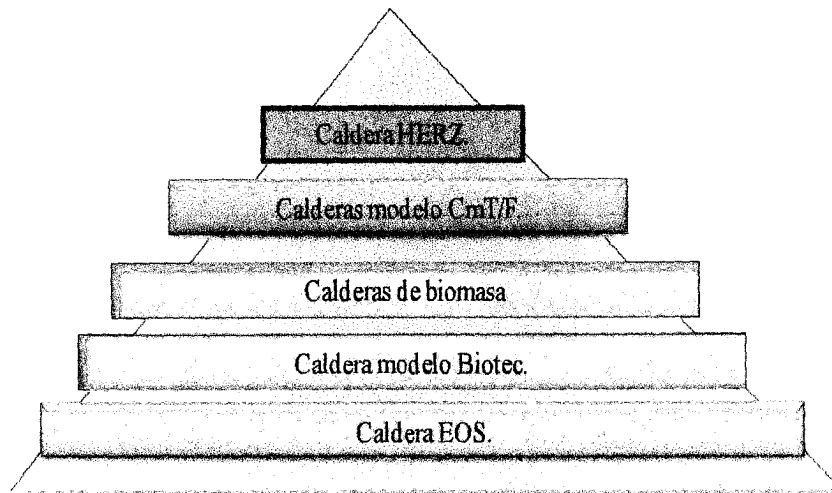
- **Población servida:** la parroquia Chaguaramas cuenta con una Población de 3.380 habitantes lo que equivale a aproximadamente 845 viviendas, con un consumo energético aproximado de 612 Kw/h por vivienda. La tecnología tiene una potencia de 10 a 15 Mw, lo que podría generar de 10000 a 15000 kw/h esto alimentaria a más o menos 25 viviendas lo que equivale a 150 personas. Ya conociendo este resultado se le asigna el valor de 2 dentro de la Tabla 4.4
- **Poder calorífico del residuo:** De acuerdo a los datos suministrados por la Dirección de Energías Alternativas Ministerio del Poder popular de Energía y Petróleo (2013) el poder calorífico de los residuos forestales es mayor a 1000 PCS Kj/Kg, por lo que el valor que le corresponde de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 4.5 es de 1.
- **Capacidad nominal de la tecnología:** La capacidad nominal o potencia de la tecnología es mayor a 5 Mw en este caso, por lo que el valor que le corresponde de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 4.6 es 3.
- **Composición de las cenizas:** De acuerdo a los datos suministrados por la Dirección de Energías Alternativas Ministerio del Poder popular de Energía y Petróleo (2013) el porcentaje de cenizas de los residuos forestales es menor al 1%, por lo que, de acuerdo a la Tabla 4.7, se le asigna el valor de 3.
- **Eficiencia energética de la tecnología:** La eficiencia de la Caldera Herz es del 70% de acuerdo al proveedor consultado, correspondiéndole un valor de 2 de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 4.8.
- **Emisiones de gases:** La tecnología cuenta con un sistema integrado de limpieza de quemador con parrilla, vigilancia automática de combustión y de los gases de salida, por lo que se asumió que la concentración de los gases emitidos (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y sulfuro de hidrógeno) será baja en todos los casos, por lo tanto se asignó un valor de 3 a cada uno de ellos, de acuerdo a los rangos establecidos en las Tablas 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12
- **Generación de ruido:** en el caso del ruido se asumió que los niveles generados son mayores a 131 decibeles, asumiendo que la tecnología no tiene silenciadores por lo tanto se le asignó el valor de 1 para la evaluación como se estableció en la Tabla 4.13.
- **Inversión requerida:** En el caso de la inversión requerida se estableció un supuesto que el costo de inversión es mayor a 30 millones, para tomar la situación más desfavorable, por lo tanto el valor asignado, de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 4.14 es de 1.

Una vez obtenidos los valores de cada una tecnología, fueron incorporados en la matriz de puntuación que se muestra en la Tabla 4.18 junto con la ponderación (P) obtenida de la consulta de expertos, lo que permitió realizar la jerarquización piramidal de las tecnologías que se muestra en la Figura 4.13, en función de aquella que obtuviera el mayor puntaje total. En este sentido, en el primer lugar se encuentra la tecnología Caldera HERZ, lo que significa que presenta la mayor aptitud o condición más favorable para aprovechar los residuos forestales en la parroquia Chaguaramas, seguida de las siguientes tecnologías: Calderas modelo CmT/F, calderas de biomasa, calderas modelo BIOTEC y finalmente las Caldera modelo EOS.

Tabla 4.18- Matriz síntesis del caso de estudio

Matriz síntesis del caso de estudio												
Criterios	%	Calderas de biomasa		Calderas modelo CmT/F.		Caldera modelo Biotec.		Caldera modelo EOS.		Caldera HERZ.		
		V	VXP	V	VXP	V	VXP	V	VXP	V	VXP	
Social	Población Servida	0,128	3	0,384	2	0,256	1	0,128	3	0,384	2	0,384
Técnicos	Poder calorífico	0,116	2	0,232	2	0,232	2	0,232	2	0,232	1	0,232
	Capacidad nominal	0,126	2	0,252	3	0,378	2	0,252	3	0,378	2	0,126
	Composición de las cenizas	0,11	2	0,22	3	0,33	3	0,33	3	0,33	3	0,33
	Eficiencia energética de la tecnología	0,138	2	0,276	3	0,414	3	0,414	3	0,414	3	0,414
Ambientales	Emisiones de monóxido de carbono CO ₂ (g/m ³)	0,136	2	0,272	2	0,272	2	0,272	1	0,136	3	0,408
	Emisiones de óxido de nitrógeno NO _x (g/m ³)	0,136	2	0,272	2	0,272	2	0,272	1	0,136	3	0,408
	Emisiones de dióxido de azufre (g/m ³)	0,136	2	0,272	3	0,408	2	0,272	1	0,136	3	0,408
	Emisiones de sulfuro de hidrógeno (g/m ³)	0,136	2	0,272	2	0,272	2	0,272	1	0,136	3	0,408
	Nivel de ruido	0,102	2	0,204	3	0,306	1	0,102	2	0,204	2	0,204
Financieros	Inversión (M\$) requerida	0,14	3	0,42	2	0,28	3	0,42	2	0,28	1	0,14
TOTAL (Σ)				3,07		3,42		2,96		2,76		3,46

Fuente. Elaboración propia

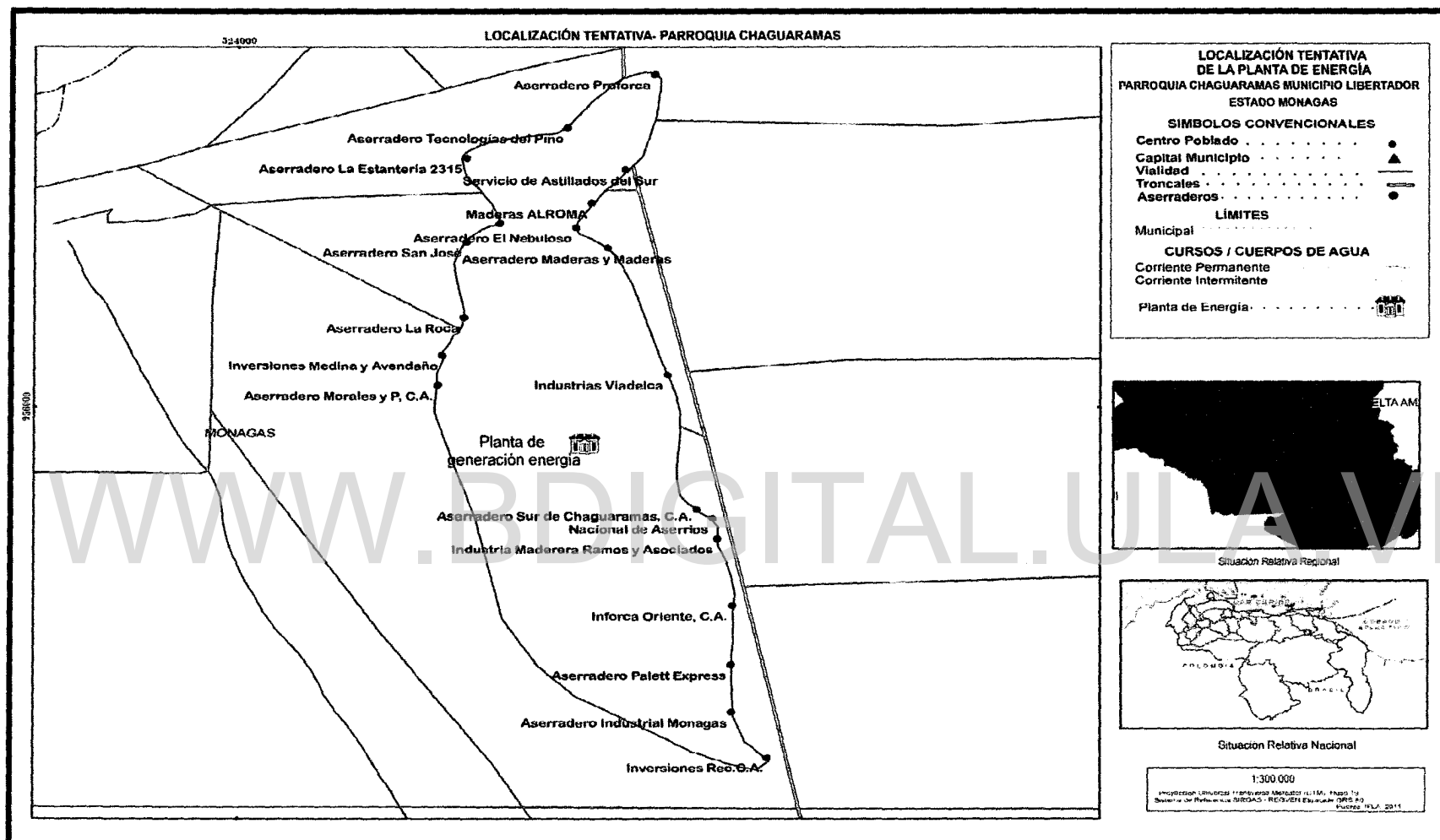


Fuente. Elaboración propia

Figura 4.13. Jerarquización de las tecnologías

4.5. Ajuste del procedimiento.

Una vez desarrollado el caso de estudio y aplicado el procedimiento propuesto, se le incorporó a este un nuevo aspecto como lo es la posibilidad de localizar de manera tentativa la planta de energía eléctrica. Para localizar y ubicar la planta como se muestra en la Figura 4.14, en virtud de la cercanía entre los aserraderos de la parroquia Chaguaramas (todos están a menos de 25 km unos de otros), se unieron los puntos de ubicación de cada uno de los aserraderos hasta crear una figura irregular a la que posteriormente se le calculó el centroide utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica a través del programa ArcMap. Este punto dio como resultado la ubicación tentativa de la planta a una distancia equidistante de cada uno de los aserraderos que la alimentarían. Este procedimiento adicional podría ser utilizado en la toma de decisiones a nivel de prefactibilidad de un proyecto de instalación de una planta de energía, o a un nivel más detallado se haría una evaluación más completa en la que se deberían tomar en cuenta otros factores como topografía, disponibilidad de terreno y otros.



Fuente. Elaboración propia a partir de IFLA (2012)
Figura 4.14- Localización tentativa de la planta de energía. Parroquia Chaguaramas. Municipio Libertador estado Monagas

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A nivel mundial en distintos países como España, Cuba, Chile, Panamá, China entre otros utilizan alternativas tecnológicas para la generación de energía a partir de residuos forestales. Dentro de estas existen tres alternativas se tiene: la gasificación, pirolisis y combustión. Siendo esta última las más utilizada por las distintas plantas para la generación de electricidad o calefacción, en el caso de la de gasificación y pirolisis a gran escala con residuos sólidos aún están siendo desarrollados en los países industrializados.

Dentro del proceso de combustión las tecnologías utilizadas por las distintas plantas de energía se tiene las siguientes: caldera con parrilla vibratoria y turbina de vapor, lecho fluidificado, caldera acuotubular o humo-tubular, calderas de alta presión; tecnología ERK la cual utiliza un sistema de combustión de parrilla También se utilizan procesos de cogeneración con turbinas de vapor, y en menor proporción se tienen los gasificadores de tiro invertido.

En Venezuela se generan a nivel de aserraderos aproximadamente 118.585 ton/año de residuos forestales, los cuales podrían ser utilizados como combustible para la generación de energía eléctrica aproximadamente 600 Mw, a través de distintos procesos de transformación como gasificación, pirolisis y combustión. El aprovechamiento de estos residuos contribuiría no sólo a reducir significativamente los problemas en cuanto al manejo de los mismos, sino también a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, producto de los procesos de generación de energía con el uso de combustibles fósiles y, en el caso particular de Venezuela, presentaría una alternativa ante la dependencia actual de las fuentes de energía hidroeléctrica.

En este sentido, esta investigación se centró en el desarrollo de un procedimiento que permita jerarquizar, en función de criterios sociales, técnicos y ambientales, tecnologías utilizadas para el aprovechamiento energético de residuos forestales en un determinado sitio. Como parte de este proceso, se formuló un flujograma de decisión, el cual permite establecer de manera secuencial los pasos a seguir en el proceso de jerarquización, para decidir entre un conjunto de tecnologías, cuál sería la más apropiada para un determinado caso.

Se aplicó el flujograma de decisión, siguiendo los lineamientos propuestos, tomando como caso de estudio la parroquia Chaguaramas del municipio Libertador del estado Monagas, en virtud que esta tiene un número considerable de aserraderos que generan aproximadamente 25.168 ton/año además es el área de posible instalación de una planta de generación de energía por parte del Ministerio del Poder Popular de Energía- MpPPE.

Se concluye que es factible la instalación de una planta de generación eléctrica considerando que la producción de residuos forestales es constante, además que los residuos poseen propiedades caloríficas adecuadas para la generación de energía. El proceso de jerarquización de las tecnologías dio como resultado que la tecnología Caldera HERZ presenta la mayor aptitud o condición más favorable. Este tipo de caldera cuenta con potencias que van desde 1 Mw hasta 5Mw. Permite el uso de distintos tipos de combustibles como astillas. La alimentación es automática. Tienen un sistema de limpieza automatizada y un elevado rendimiento, una cámara de combustión con un sistema integrado de limpieza del quemador con parrilla, vigilancia automática de combustión y de los gases de salida, y un sistema de extracción de cenizas. Adicionalmente tiene una eficiencia de 70%

Una vez aplicado el procedimiento se realizó el ajuste de mismo mediante la incorporación de otro elemento como los es la posibilidad de localizar de manera tentativa la planta de generación de energía eléctrica en virtud, utilizando los Sistemas de Información Geográfica, en particular la herramienta ArcMap. Este procedimiento adicional podría ser utilizado en la toma de decisiones en la fase de prefactibilidad de un proyecto de instalación de una planta de energía.

5.2 Recomendaciones

En virtud de los resultados que se generaron en esta investigación, se hacen las siguientes recomendaciones, en cuanto a la incorporación de nuevos aspectos o mejorar la precisión de los aspectos ya incorporados, que pudieran mejorar el proceso de selección y jerarquización de las tecnologías y la calidad de los resultados obtenidos:

- La generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales en el país se pudiera incrementar si se toma en consideración, además de los residuos generados en los aserraderos, los que son dejados en campo durante el aprovechamiento forestal.
- Mejorar el sistema de almacenamiento de los residuos forestales, lo cual permitiría un mayor aprovechamiento de los mismos. Si no se almacenan bien los residuos (como ahora) no es mucho lo que se puede aprovechar debido al proceso de biodegradación de los mismos.
- Incluir otros criterios de exclusión, por ejemplo sería necesario tomar en cuenta la distancia desde la planta de generación eléctrica hasta el sitio de aprovechamiento de la misma, para ver si es viable desde el punto de vista económico.
- De igual manera, se pudieran incluir otros indicadores de gestión para darle más peso al proceso de jerarquización de las tecnologías, los cuales van a depender de la información disponible como por ejemplo costos sociales y costos ambientales, confiabilidad tecnológica.

Licencia Creative Commons:

⁷⁰
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- En lugar de utilizar valores generalizados, se recomienda realizar un análisis de los residuos forestales generados en cada uno de los aserraderos a evaluar, para determinar sus características físico-químicas, a fin de conocer el potencial energético de los mismos con mayor precisión, además de determinar la necesidad o no de la incorporación de tecnologías para la adecuación de los mismos.
- Desarrollar un anteproyecto de instalación de una planta de generación de energía que contenga las especificaciones del tipo de combustible que se piensa utilizar y la potencia que es necesaria generar a fin de poder solicitar la información y cotizaciones de las tecnologías, ya que de esta manera hay más probabilidades de recibir la información por parte de los proveedores.
- Incentivar el uso de tecnologías de co-generación en instalaciones o industrias que requieran calor a pequeña escala para sus procesos, y que se encuentren cercanas a los aserraderos, de manera que pudieran satisfacer esa necesidad a través de la compra y aprovechamiento de los residuos forestales de los aserraderos, a la vez que disminuyen sus emisiones de CO₂ y su gasto en energía eléctrica.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

REFERENCIAS CITADAS

Almagro, C. Tolosana, E. Fernández, A. y Vignote, S. (2009). El estado actual de la gestión de los residuos forestales en España. Departamento de Economía y Gestión de las Explotaciones e Industrias Forestales. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria s/n. E-28040 Madrid. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/Europe/documents/Events_2009/Landcons5/f-4.pdf [Consulta: 2013, Marzo 13]

Atlas de energía eléctrica Brasil (2002). Agencia Nacional de energía eléctrica. Agencia Nacional de energía eléctrica. ANNCEL. Disponible en: http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf. Disponible en: [Consulta: 2012, Junio 07]

Barreto, L., Batalla, C., Ferraro, G., García, M., Y Peña, A (2010). Aprovechamiento energético de residuos sólidos de curtiembre. Facultad de Ingeniería-UDELAR. Montevideo, Uruguay. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.energias-renovables.com/articulo/centrales-electricas-que-se-pasan-del-carbon>. [Consulta: 2013, Junio 10]

Bera, G. (2008). Energía de la Biomasa. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE). Colección de energías renovables. Madrid: 2ª Edición Mundi-Prensa Disponible en: <http://www.fcirce.es/> [Consulta: 2012, Agosto 20]

Ben, R. (2003). Energía de la Biomasa. I Jornadas Técnicas de Ciencias Ambientales. Madrid. AVEBIOM (Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa). [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cienciasambientales.org.es/index.php/noticias/109-decenas-de-organizaciones-civiles-y-empresariales-piden-al-gobierno-que-reoriente-la-remuneracion-de-la-electricidad-y-no-perjudique-a-las-renovables.html>. [Consulta: 2012, Marzo 19]

Bellolio, R., y Karelavic, P. (2011). *Departamento De Ingeniería Eléctrica | Pontificia Universidad Católica de Chile*. Recuperado el 15 de 12 de 2011, de Energía de Biomasa Forestal en Chile. Consultado en línea en: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno11/biomass/study1.html> [Consulta: 2012, Mayo 15]

Cabello, A. (2006). Energías Alternativas. Solución para el desarrollo sustentable. 8 jornadas Medio Ambiente Comunidad y Empresa. República de Argentina: Editado y Reproducido por REFINOR S.A. S.A. - 1ª Edición. Documento en línea]. Disponible en: http://dSPACE.utalca.cl/retrieve/10081/cabello_quinones_am.pdf. [Consulta: 2013, Mayo 15]

Caraballo, B (2012). Central "Ezequiel Zamora" cubrirá el 11% del consumo nacional de azúcar. Sistema de comunicación e información (SIBCI). Gobierno Bolivariano de

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Venezuela. Documento en línea]. Disponible en: http://www.alopresidente.gob.ve/info/6/2191/central_ezequiel_zamoracubriruel.html [Consulta: 2015, Marzo 15]

Castaño, N. (2010). Estrategia Española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. [Documento en línea]. Disponible en: [file:///C:/Documents%20and%20Settings/IFLA/Escritorio/Documentos/Estrategia Biomasa Forestal Residual Marzo 2010 tcm7-299297.pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/IFLA/Escritorio/Documentos/Estrategia_Biomasa_Forestal_Residual_Marzo_2010_tcm7-299297.pdf). [Consulta: 2013, Octubre 07]

Castells, X (2012). Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales: Reciclaje de residuos agrícolas y forestales. Ediciones Díaz Santos. Madrid. [Libro en línea]. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=DPpBMD-fVdUC&printsec=frontcover&hl=es&source=qbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false[Consulta: 2013, Noviembre 07]

Camps, M y Marcos, F. (2008). Los Biocombustibles. Colección de energías renovables. Madrid: 2ª Edición Mundi-Prensa.1ªEdición. [Libro en línea]. Disponible en:[http://dspace.uta.cl/retrieve/10081/cabello quinones am.pdf](http://dspace.uta.cl/retrieve/10081/cabello_quinones_am.pdf). [Consulta: 2013, Julio13]

Centro de Energías Renovables (CER) (2011). Energía Biomasa. Ministerio de Energía Chile. [Libro en línea]. Disponible en: http://cer.gob.cl/tecnologias/files/2011/12/libro_biomasa.pdf [Consulta: 2012, Abril 15]

Celulosa Araujo y Constitución S.A (2006). Auditoría ambiental nacional seguimiento puesta en marcha informe final. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-35753_pdf_aud_junio2006.pdf [Consulta: 2013, Mayo 15]

Congreso Nacional Forestal (2012). Bioenergía para el empleo. Documento del Grupo de Trabajo nº10 de Conama Biomasa. Disponible en: http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama11//GTs%202010/10_final.pdf. [Consulta: 2013, Julio 14]

Congreso Nacional De Medio Ambiente - CONAMA (2012). Energías renovables y expoambiente. Disponible en: <http://www.fundacionrenovables.org/2012/04/congreso-nacional-de-medio-ambiente-y-energias-renovables-expoambiente-asturias-2012/> [Consulta: 2013, Julio 14]

Congreso Internacional sobre la nueva cultura del aprovechamiento de la biomasa y de la fracción orgánica de los residuos municipales Vitoria-Gasteiz. Universidad de León. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.bpeninsular.com/pdfs/Aspectos_Ambientales_uso_Biomasa.pdf [Consulta: 2011, Diciembre 12]

Colomer, J., y Gallardo, A (2007). Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. Universidad Politécnica de Valencia. [Libro en línea]. Disponible en: http://books.google.es/books/about/Tratamiento_y_gesti%C3%B3n_de_residuos_s%C3%B3lidos.html?hl=es&id=T7RTGQAACAAJ. [Consulta: 2013, Octubre 07]

Corporación Nacional de Energía (COPORPOELC) (2010). Situación actual del sistema eléctrico nacional. Electrificación del Caroní. C.A. Dirección y Operación Mantenimiento de Transmisión. División de operación. Disponible en: <http://es.slideshare.net/energia/venezuela-situacion-actual-del-sistema-electrico-nacional>. [Consulta: 2012, Junio 15].

Cúcellavar, H., (2012). Atlas Artístico de la República Bolivariana de Venezuela. Editorial Thema. Organización Cultura Internacional.

Dirección de Energías Alternativas. (2013) Ministerio del Poder popular de Energía y Petróleo. República Bolivariana de Venezuela

Domínguez, P., López, P., Vivas, F. (2010). Energía de la biomasa. Universidad Nacional Experimental pirotécnica "Antonio José de Sucre). Dirección de Investigación Postgrado. UNEXPO. [Documento en línea]. Disponible en: <http://es.slideshare.net/PedroDominguez2/energia-de-la-biomasa-en-venezuela>. [Consulta: 2013, Enero 18]

Dufuor, J (2006). Nueva planta de producción de energía eléctrica a partir de biomasa. En Andalucía (líder en España). weblog de Energía y Sostenibilidad de Madrid [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2006/12/07/54334> [Consulta: 2013, Marzo 13]

ECOTICIAS, (2013). Iberdrola Ingeniería construirá dos centrales de biomasa en Canadá por 240 millones de euros. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ecoticias.com/biocombustibles/85057/noticia-medio-ambiente-iberdrola-ingenieria-construira-centrales-biomasa-Canada-euros>. [Consulta: 2013, Junio 13]

Enersilva. (2007). Promoción del uso de la biomasa con fines energéticos en el suroeste de Europa. [Documento en línea]. Disponible en: <http://enersilva.navegantes.info/areasubir/resultados/Enersilva%20español.pdf> [Consulta: 2012, Febrero 10]. Estrada, G., Morán, M., y Gómez, C. (2006). Aspectos Ambientales en la obtención y uso de la biomasa primaria y los cultivos energéticos. Biomasa peninsular.

Energylab, (2009). Centro Tecnológico de eficiencia y sostenibilidad energética. Aplicaciones sectoriales de la biomasa. Jornadas: Biomasa con solución térmica ecoeficiente. León-España. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.exe?CMD=VEROBJ&MLKOB=666462672424> . [Consulta: 2013, Enero 12]

Estrada, G., Morán, M., y Gómez, C. (2006). Aspectos Ambientales en la obtención y uso de la biomasa primaria y los cultivos energéticos. Biomasa peninsular. Congreso Internacional sobre la nueva cultura del aprovechamiento de la biomasa y de la fracción orgánica de los residuos municipales Vitoria-Gasteiz. Universidad de León. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.bpeninsular.com/pdfs/Asspectos_Ambientales_uso_Biomasa.pdf [Consulta: 2011, Diciembre 12]

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Echeverría, I. (2007). Aprovechamiento energético de la Biomasa Forestal al Sur de Europa. *Proyecto BIO-SOUTH: Análisis tecno-económico de la producción y uso de los biocombustibles para aplicaciones de calor y frío en el sur de Europa*. Pamplona: CENER – Centro Nacional de Energías

Renovables. Disponible en: [file:///D:/Downloads/DialnetCondicionantesEconomicosDelAprovechamientoDeBiomasa-4223584%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/DialnetCondicionantesEconomicosDelAprovechamientoDeBiomasa-4223584%20(1).pdf) [Consulta: 2012, Abril 15]

Extremeña de la Energía (2009). Biomasa para proyectistas, Curso Técnico de Sistemas de Biomasa y Sistemas Híbridos. Acciones Gratuitas Cofinanciadas por el FSE. Disponible en: <http://www.agenex.net/images/stories/deptos/biomasa-para-proyectistas.pdf>. [Consulta: 2013, Mayo 15]

Fernández, M y Saavedra, M (2010). Plantas de Biomasa. Bolivia. Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de Biomasa. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0q.htm> [Consulta: 2013, Octubre 05]

Fundación Red de Energía (BUN-CA) (2002). Biomasa. Fortalecimiento de la Capacidad en energía Renovable para America Central. Primera Edición San José, Costa Rica. Disponible en: <http://www.bun-ca.org/publicaciones/BIOMASA.pdf> [Consulta: 2011, Noviembre].

García, P. (2010). Uso de la Biomasa como combustible energético. Asunción: Departamento de Energía, Centro de Investigación energéticas medioambientales y tecnológicas (CIEMAT). [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.olade.org/electricidad/Documents/ponencias/Dia%2027%20de%20mayo/Sesion%207/Pilar%20Garcia%20-%20Bio%20Masa.pdf> [Consulta: 2011, Febrero 10]

Gómez, M. (2008). Sistema de generación eléctrica con pila de combustible de óxido sólido alimentado con residuos forestales y su optimización mediante algoritmos basados en nubes de partículas. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Educación a Distancia. [Documento en línea]. Disponible en: http://e-spacio.uned.es/fez/eserv.php?pid=tesisuned:Inglnd-Mgomez&dsID=TESIS_MGG0_PagIniciales_Indices.pdf [Consulta: 2011, Enero 07]

Gómez, L (2009). Evaluación energética en una planta de generación de energía a través de biomasa leñosa Vereda de Nueva Pampa corregimiento del Totúmo Municipio de Necoclí – Antioquia. Universidad Nacional de Colombia “Sede Medellín” Facultad de Minas Escuela de Electromecánica Ingeniería Eléctric. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/878/1/74811786_2009.pdf [Consulta: 2014, Noviembre 10]

González, J (2009). Energías Renovables. Barcelona: Ediciones Reverte, S.A. [Libro en Línea]. Disponible en: <http://www.reverte.com/%E2%80%A6/ficha/img/pdfs/9788429179125.pdf>. [Consulta: 2011, Enero 10]

Grupo Bera (2003). Manual de tecnologías limpias en pymes del sector residuo. Organización de Estados Americanos. Programa Horizontal de Tecnologías Limpias y Energías. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.redrrss.pe/material/20090128192419.pdf> [Consulta: 2013, Julio 10]

Grupo Ence (2011). Energía y Celulosa. Huelva, España. [Documento en línea]. Disponible en: https://www.google.co.ve/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0CCEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ence.es%2Findex.php%2Fes%2Fhuelva.html&ei=zTRAVeyPF_G0sATcn4DADg&usg=AFQjCNEmwDUwF2DrJCEY6bLlDa4H9gYHA [Consulta: 2012, Marzo 12]

Instituto Forestal Latinoamericano (2012). Inventario, caracterización y evaluación de biomasa residual seca de origen forestal como fuente alternativa para la generación de energía eléctrica. Informe Final. Agosto 2012. Mérida-Venezuela.

Instituto Nacional de Estadística (2011). Censo de población y vivienda. República Bolivariana de Venezuela.

Jiménez, J y Gómez, A (1997). Estudio del Potencial energético de biomasa *Pinus Caribaea Morelet var.*, *Caribaea (Pc)* y *Pinus Tropicalesmorelet (pt)*; *Eucaliptus Saligna Smith(Es)*, *Eucaliptus Citriodora Hook(Ec)* y *Eucaliptus pellita F.Muell (Ep)*; De la provincia de Pinar del Río. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma de Chapingo*, 83-89.

Ley de Gestión Integral de la Basura (2011). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela 6.017. (Extraordinario). Diciembre, 30, 2010.

Martínez, S. (2009). Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis Doctoral. Universidad de Girona.

Márquez, F., Cordero, T., Rodríguez, J., Rodríguez, J. (2001). Estudio del Potencial energético de biomasa *Pinus Caribaea Morelet var.*, *Caribaea (Pc)* y *Pinus Tropicalesmorelet (pt)*; *Eucaliptus Saligna Smith(Es)*, *Eucaliptus Citriodora Hook(Ec)* y *Eucaliptus pellita F.Muell (Ep)*; De la provincia de Pinar del Río. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma de Chapingo*, 83-89.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Masera, O., Aguilón, J. y Gamino, B. (2005). Estimación del recurso y perspectivas tecnológicas de la biomasa como energético renovable en México. Instituto de ingeniería, UNAM. Disponible en: http://beta.energia.gob.mx/res/168/A2_Biomasa.pdf. [Consulta: 2012, Mayo 20]

Manual de Anergias Renovables (2002). Organización de Estados Americanos. Programa Horizontal de Tecnologías Limpias y Energías. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.redrssi.pe/material/20090128192419.pdf> [Consulta: 2013, Julio 10]

Meisen, P., y Krumpel, S. (2009). Geni. Global Energy Network Institute. Disponible en: www.geni.org/...america/el-potencial-de-america-latina-energia-renovables. [Consulta: 2011, Diciembre 12].

Monreal, C. (2008). La Utilización de los Residuos Agrícolas y Otros Desechos Para la Producción de Bioenergía, Biocombustibles y Bioproductos. 1. Disponible en: <http://unicienciaambientalex.info/infoCT/Utiresagrotresprobiobiobioca.pdf> [Consulta: 2012, Enero 10].

News Soliclima (2008) La central de biomassa mas grande del mundo. [Noticias en línea]. Disponible en: <http://news.soliclima.com/noticias/biomasa/la-central-de-biomasa-mas-grande-del-mundo-ya-funciona-en-alemania>. [Consulta: 2011, Noviembre 1].

Nogues, F y Royo J. (2002). Ciclo Energías Renovables. Jornadas de biomasa. Fundación CIRCE. Disponible en: http://www.agennergia.org/files/resourcesmodule/@random4991a1ff1b986/1234281334_Gralidades_biomasa.pdf [Consulta: 2011, Noviembre 22].

Normas de calidad del aire y control de la contaminación atmosféricas (Decreto 638) (1995, abril, 26) Gaceta Oficial de la República de Venezuela 4.489. (Extraordinario) Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Parques (INPARQUES). República Bolivariana de Venezuela.

Normas sobre el control de la contaminación generada por el ruido (Decreto 2217) (1992, abril, 27) Gaceta Oficial de la República de Venezuela 4.418 (Extraordinario) Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Parques (INPARQUES). República Bolivariana de Venezuela

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO (1995) Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Depósito de documentos FAO. Dirección de productos forestales, FAO. Roma Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay, 23 al 27 de octubre, 1995. SERIE FORESTAL Nº 7. Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s00.HTM> Consulta: 2011, Noviembre 20]

Pérez, M (2006). Producción de energía eléctrica a partir de biogás procedente de vertederos de residuos sólidos urbanos. P. 4,135. Trabajo de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. [Documento en línea]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0614_EA.pdf[Consulta: 2011, Noviembre 2012]

- Pinheiro, C (2005). Potencial bioenergético-uma abordagem da geração de energia eléctrica utilizando casca-de-arroz e resíduos da madeira através do estudio de caso. Dissertação de Mestrado . Brasil, Santa María: Universidad Federal de Santa María. [Libro en línea]. Disponible en: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp018686.pdf>. [Consulta: 2012, Octubre 20]
- Plan Nacional Simón Bolívar 2007-2013. (2007) Desarrollo economico y social de la Patria. República Bolivariana de Venezuela. Caracas
- Pontt, J. (2008). Potencial de la Biomasa para la Generación Eléctrica en Chile. Estudio de Contribución de las ENRC al Sic 2025. Informe sectorial final. Universidad Técnica Federico Santa María.
- Sogis Corp Instituto Tecnológico de El Salto, The Pemina Institute Basis Company (2010). Evaluación de la madera, la biomasa y el carbón de bosques y las tecnologías potenciales de producción de energía a partir de biomasa en Durango, México. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1107Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Madera,%20la%20biomasa%20y%20el%20carbono%20de%20bosques%20y%20las%20tecnolog%C3%ADas%20potenciales....pdf> [Consulta: 2012, Julio 1].
- Survey of Energy Resources (2007). World Energy Conuncil. Conseil Mondial De Energie. Disponible en http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf [Consulta: 2013, Febrero 3].
- Toscano, A (2009). Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa. (Aplicación a biomosas locales típicas). Escuela superior politécnica la litoral facultad de ingeniería en mecánica y ciencias de la producción. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/337/1/619.pdf>. [Consulta: 2013, Diciembre 15]
- Tchobanaglou, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1997). Gestión Integral de Residuos Sólidos. España: McGraw-Hill, Inc.
- Velázquez Martí, B. (2006). Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su uso energético. Ecosistemas Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. 15 (1). P. 10
- Valter F. y Antonini E (2008). Manual de combustibles de madera. Universidad de Padua. Editorial Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM)

APÉNDICE. Instrumento para expertos

Presente.-

Reciba un cordial saludo. La presente tiene como finalidad solicitarle su valiosa colaboración en la validación del instrumento diseñado con el objetivo de Contribuir en el aprovechamiento energético de la biomasa forestal proveniente de las Empresas de Transformación de la madera en Venezuela. El objetivo del instrumento es conocer el nivel de importancia que tienen los criterios sociales, técnicos, ambientales y económicos.

Dicho instrumento será aplicado como último paso dentro de mi metodología en el trabajo de investigación titulado "Desarrollo de una metodología para la selección de tecnologías para la producción de energía eléctrica a partir de residuos forestales en Venezuela". Desarrollado por la Geógrafa Aurelia Villasmil Rosales bajo la tutoría de la Ms.C. Mónica Ilija

Como experto en el ámbito de energías alternativas como la proveniente de biomasa, se espera que desde su perspectiva, desde su perspectiva como experto en el área, el nivel de importancia que usted le asignaría a cada uno de los criterios presentados, en función de la siguiente escala:

- ✓ Importancia baja= 1
- ✓ Importancia media=2
- ✓ Importancia alta=3

De antemano, ¡gracias por su gran colaboración!

Geog. Aurelia Villasmil Rosales

Tesista

Centro de Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT)-Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela

Nota. Seguidamente se muestra la planilla

A continuación se presenta la matriz de ponderación de criterios según su nivel de importancia. Lea cuidadosamente la descripción de cada uno de los criterios y en la casilla correspondiente marque una x el nivel de importancia que tiene para usted. Adicionalmente, usted puede hacer cualquier tipo de comentario al final de este correo.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Criterios		Nivel de importancia		
		1	2	3
Sociales	Población Servida: se refiere a la población que será beneficiada directamente por la energía eléctrica generada en una planta de generación de energía por medio del sistema interconectado nacional			
Técnicos	Poder calorífico de la biomasa: hace referencia a la cantidad de energía que puede desprender la biomasa residual seca, en función del tipo de madera ya que cada especie tiene su valor calórico propio.			
	Capacidad nominal: está referida a la capacidad energética que tiene una planta de energía eléctrica y se expresa en términos de Mw			
	Composición de cenizas. Este indicador se refiere al porcentaje de cenizas que emiten los residuos que serán utilizados como combustible. Mientras mayor es el porcentaje de cenizas mayor será la generación de escorias.			
	Eficiencia energética de la tecnología. Este indicador se refiere a la eficiencia energética de la tecnología, mientras mayor sea la eficiencia mayor es la efectividad tecnológica.			
Ambientales	Emisiones de gases: son aquellos generados durante el proceso de conversión de biomasa a energía. Dentro de los principales contaminantes que se producen son las emisiones de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO ₂), óxido de nitrógeno (NO _x), óxido nitroso (N ₂ O), metano (CH ₄).			
	Niveles de ruido: son aquellos generados durante la operatividad y funcionamiento de la planta desde el punto de vista de funcionamiento de la tecnología			
Financieros	Inversión de capital: se refiere a la inversión monetaria requerida para la adquisición de los equipos tecnológicos y así poder definir cuál o cuáles pueden ser las menos costosas en términos de costo de capital			