INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

República de Cuba

Ministerio de Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

Departamento de Metalurgia Electromecánica

Título: Evaluación del potencial energético de la Biomasa residual de la industria forestal y agrícola en Moa

Autor: Héctor Roche Salazar

Tutor: Carlos Zalazar Oliva

Curso 2013-2014

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Héctor Roche Salazar

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Autor:	Tutor:
Héctor Roche Salazar	Ing. Carlos Zalazar Oliva

Pensamiento:

"En la tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y den más, que digan mejor ahora que mañana."

Che

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a mi superación en especial a mi tutor Ing. Carlos Zalazar Oliva, por su asesoría, enseñanza y conocimientos tributados a favor de mi formación académica.

A todos los profesores del Instituto, que con tanta dedicación impartieron las asignaturas necesarias y aportaron su tiempo y conocimientos en orientarnos para que pudiéramos obtener el éxito

A mis compañeros de aula en especial a Maikel Hernández a mi compañero de trabajo Mituo Cortina Safont. A mi esposa e hija que estuvieron presente en lo largo de mi carrera como mis padres y suegros y a mi amigo Roger Rafael Fonseca Bles por prepararme bien para la prueba de ingreso....

A todos,

Muchas gracias

RESUMEN:

Este trabajo tiene como objetivo realizar el análisis del potencial energético de la biomasa en el municipio de Moa, en el cual se logró la evaluación de los residuos agrícolas y forestales, donde se obtuvo un 62% de potencial de residuos forestal y un 38% de los residuos agrícolas. Esto nos demostró que el mayor porcentaje de índice de residuos era las industria forestales y se utilizaría como combustible para la producción de electricidad y calor este proceso requiere de ciclos térmicos de potencia con el empleo de calderas o gasificadores con turbinas de gas o vapor el cual se utilizara en un ciclo combinado de gas generando como promedio 492 MW/año que equivale a 42T de petróleo y se ahorraría el país 35752.1 dólares al año por concepto de importación de petróleo. Adicionalmente este proceso reduce las emisiones de gases considerablemente como el dióxido de carbono y CO_2 estos insignificantes para los gases que contribuyen al efecto invernadero.

SUMMARY:

This work has as objective it carries out the analysis of the energy potential of the biomass in the municipality of more silk, in which achieved the evaluation of the agricultural and forest remainders, in which it is obtuvo a 62 % of potential of forest remainders and a 38 % of the agricultural remainders. This demonstrated us that the major percentage of index of remainders was the forest industry and it uses as combustible for the production of electricity and warmth this prosecute requires of thermal cycles of power with the employment of boilers or |gasificadores| with gas turbines or steam which is used in a cycle combined of gasoline by generating as mediating 492 MW/year that equals to 42T of petroleum and the 35752.1 dollars country is saved a year on account of importation of petroleum. Additional this prosecute reduces the emissions of gasolines considerably as the dioxide of carbon and CO2 these insignificant for the gasolines that contribute to the winter quarters effe

Índice

Introducción 1

CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA. 5

1.1- Introducción 5

1.2- Búsqueda bibliográfica 5

1.3- La biomasa como fuente de energía renovable 9

1.3-1. Recursos de la biomasa. **10**

1.3-2. Procesos de conversión y formas de energía **11**

1.4- Estimación de la biomasa residual. 13

1.4-1. Estimación de la biomasa forestal **13**

1.4-2. Base cartográfica **14**

1.5- Tecnología para la trasformación de la biomasa 16

1.6- Caracterización de las producciones y forestal y agrícola en Moa 18

1.7- Conclusiones del capítulo 21

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA AGRÍCOLA Y FORESTAL. 22

2.1- Herramientas y métodos de trabajo **22**

2.2- Herramientas y métodos de trabajo el diagnostico energético **22**

2.2-1. Diagrama de Pareto **22**

2.2-2. Estratificación **23**

2.2-3. Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E – P vs. T) 24

2.3- Método de la estimación del potencial energético procedente la biomasa residual 27

2.3-1. Estimación de la biomasa residual 27

2.3-2. Estimación del potencial energético 29

2.4- Características técnicas de los combustibles.....29

2.5- Selección de las producciones agrícolas y forestales para el estudio de la biomasa. 35

2.6- Conclusión del capítulo 36

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. VALORACIÓN ECONÓMICA-SOCIAL E IMPACTO AMBIENTAL. 37

3.1- Introducción.....37

3.2- Resultados obtenidos en el diagnóstico.....37

3.3- Potencial de la biomasa en Moa 38

3.4- La energía potencial.....41

3.5- Valoración económica.....43

3.6- Impacto medioambiental.....44

3.7- Conclusiones del capítulo.....45

Conclusiones generales: 46

RECOMENDACIONES.....47

Introducción

La biomasa es toda aquella fracción biodegradable de los productos, los desechos y los residuos procedentes de la agricultura, de la silvicultura y de las industrias conexas (incluidas las sustancias de origen animal), así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales [**Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L283/33 (2001).**].

Por sus características físicas, químicas y caloríficas, la biomasa puede ser una materia primera para la producción de energía (calor y electricidad), de biocombustibles y de productos químicos alternativos a los producidos a partir recursos no renovables (petróleo, gas y carbón).

Históricamente, la biomasa forestal y los residuos de los cultivos agrícolas, han sido extensamente utilizados para la producción de calor (como combustible para hogares residenciales, panaderos, herreros, etc.). Más recientemente durante el siglo XX, ha sido fuente de materias primas para la industria química a partir de la destilación de la madera. La biomasa también es un componente importante para la construcción, y es un material de elevado interés económico para la industria del mueble.

Fundamento de la investigación

En la actualidad existen una serie de factores de naturaleza internacional que justifican la necesidad del avance tecnológico hacia el uso sostenible de la biomasa como energía renovable:

- El compromiso en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ratificado internacionalmente en el Protocolo de Kyoto. La dependencia de la

sociedad de los recursos fósiles. La dependencia mundial a los recursos fósiles es muy elevada, alcanzando un valor del 80% de la energía primaria consumida.

La tendencia al ascenso del precio del barril de petróleo y otros combustibles fósiles [**http://www3.diputados.gob.mx/ (Consulta: Marzo 2008).**].

La elevada demanda de recursos fósiles como el petróleo, el gas natural y el carbón por países como China e India, la disminución de las reservas de combustibles fósiles [**http://www.iea.org(Consulta: Abril 2008).]** y las restricciones en el suministro de estos recursos por los principales países productores repercuten en el mercado internacional hacia el alza de precios **[http://www.bp.com(Consulta: Marzo 2008)].**

Este hecho ha abierto el debate de la autosuficiencia energética respecto a la dependencia de los recursos petrolíferos de los países cuya economía históricamente ha dependido del uso de esta forma de energía mineral.

El conjunto de estos factores justifica el interés del aumento de la contribución de la energía renovable sobre el consumo de la energía primaria, en especial la biomasa, ya que esta se destaca del resto de las energías renovables en los siguientes aspectos.

Debido a su origen fotosintético es una energía de disponibilidad ilimitada y puede ser trasformada en todo momento sin depender del estado meteorológico.

El aprovechamiento energético de este recurso comporta la generación de numerosos puestos de trabajo y en consecuencia incentivo a la economía local y regional **(Martínez L. 2009).**

La biomasa residual generada en explotación forestal, agrícola, industrial, poseen características físico, químicas y energéticas que permiten la producción de energías. La planificación estratégica del suministro de biomasa puede determinar la viabilidad económica de nuevas experiencias de valorización energética de media y gran envergadura.

En el municipio de Moa de la provincia de Holguín, Cuba posee un gran potencial de recursos forestales, está constituida por bosques húmedos, pinares y carrascales, el 85 % de las tierras, unas 60 000 hectáreas, son ocupadas por bosques en su mayoría naturales, donde crecen pinos y carrascales. Mientras, las restantes 20 000 hectáreas han sido reforestadas y sembradas con coníferas y latófilas como: caoba, cedro, majagua, ocuje, eucalipto y otras. Además aunque efímera posee un desarrollo agrícola pobre se prevé para el 2020 un el aumento de las producciones de los productos agrarios. En fin las características territoriales permiten el aprovechamiento de la biomasa de diversos orígenes.

Por lo que se define como **problema** del trabajo investigativo:

El desconocimiento de las potencialidades energéticas de los desechos agrícolas y forestales del municipio de Moa.

Y su **campo de acción**: diagnóstico energético de los residuos agrícolas y forestales.

Hipótesis Si se realiza la evaluación de la producción, rendimientos de los productos agrícolas y el índice de generación de desechos, agrícolas y forestal, en el municipio de Moa, se podría determinar el potencial energético de dichos residuos para su uso en la generación de energía como fuente alternativa.

Por tales motivos se define en la presente tesis el **objetivo** de realizar una evaluación de la biomasa de los residuos agrícolas y forestales como recurso energético renovable en el municipio de Moa y el análisis de los diversos factores que contribuyen a la viabilidad de la producción de energía a partir de este recurso.

Para ello se toma como **objeto de estudio**: Los residuos agrícolas y forestales en el municipio de Moa.

El alcance de este objetivo ha requerido el estudio de las siguientes temáticas, planteadas en la presente tesis como **objetivos específicos**:

- Cuantificar los recursos de biomasa disponibles para usos energéticos en municipio de Moa.
- Revisar la tecnología para la transformación de la biomasa.
- Analizar la viabilidad económica de generación de energía a partir de biomasa residual de la agricultura y forestal en Moa.

Tarea:

1. Búsqueda bibliográfica sobre la temática del desarrollo de la biomasa en el mundo y en Cuba.
2. Evaluación de la información de superficies y rendimientos de los productos agrícolas y forestales.
3. Estimación de la biomas obtenida a partir de los desechos agrícolas y forestales en Moa.
4. Evaluación de la energía disponible a partir de la biomasa residual de los desechos agrícolas y forestales.
5. Análisis de los resultados obtenidos en la investigación.
6. Evaluación técnico económica y el impacto medioambiental.

CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA.

Introducción

La implementación y desarrollo de las energías renovables, puede ser una solución al problema del agotamiento de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental por las emisiones de gases, que contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta. Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía como la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucional y técnica aún incipientes.

Es por ello que en el presente capítulo tiene como objetivo:

- Abordar los aspectos técnicos y teóricos de la utilización y desarrollo de la obtención de energía a partir de la biomasa.
- La caracterización del proceso productivo de la actividad agrícola y forestal en el municipio de Moa.

1.1- Búsqueda bibliográfica

Durante el desarrollo de la investigación se encontraron un gran número de trabajos y publicaciones sobe el uso y desarrollo de las energías renovables, específicamente del uso de la biomasa como fuente alternativa para la generación de energía dentro de ello se encontraron trabajos en donde se dedicaron al realizar un diagnóstico o determinar el potencial energético de la biomasa como:

Callejo *et al* (2008) determinó el potencial energético de la biomasa residual y ganadera en Andalucía. La metodología desarrollada para lograr el objetivo propuesto se basó en las herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y utiliza un variado conjunto de fuentes de información geográfica y alfanumérica (SIGPAC, Declaraciones de cultivo del Fondo Andaluz de Garantía Agraria, SIG-Citrícola, SIG-GAN,...) que pueden catalogarse como de las más precisas y detalladas

en cuanto a usos agrícolas del suelo y explotaciones ganaderas se refiere. La que le permitió desarrollar mapas con representación de los parámetros estudiados (potencial de producción de biomasa residual agrícola y densidad energética superficial agrícola y ganadera), se ha llevó a cabo sobre una malla formada por cuadrículas o píxeles de 1 km x 1 km (100 hectáreas).

En el informe final de la beca de investigación **Félix de Azara (2006)** se realiza la evaluación del potencial de la biomasa residual en los ecosistema forestales y los medios agrícola en la provincia de Huesca, en el la investigación desarrollo de una metodología fiable, veraz y fácilmente extrapolable que permite cuantificar los residuos forestales y agrícolas (biomasa residual seca) que se podrían o deberían aprovechar en un territorio, con el propósito final de promover su valorización energética. Así, el objetivo último es conseguir un incremento considerable de la utilización de estos tipos de biomasa de forma que los objetivos del Plan de Energías Renovables en España no sean tan inalcanzables, beneficiándonos de todas las importantes ventajas medioambientales y socioeconómicas asociadas.

Espinosa (1986) propone proyecto de solución basaba en el "arrastre hídrico" de la gallinaza a partir de revestir los fosos de la naves avícolas con espesores pequeños de hormigón pulido y sistemas exteriores de recolección para su conducción a digestores y posterior tratamiento por lagunas de la fracción líquida, pero la dirección del CAN ha rehusado establecer aunque sea de forma experimental este sistema alegando "que las gallinas se estresan con el agua de las mangueras".

Field (1987) Facilita procedimiento de medición estimada de la concentración de metano en el biogás, utilizando el principio de la "Botella de Mariotte", cuando adolecemos de otros instrumentos de laboratorio más precisos, tales como el Cromatógrafo.

Martina et al (2003) exponen los resultados de algunos de los ensayos de biodigestión anaeróbica para obtención de gas metano de aserrín de diferentes maderas obtenidas

como residuo de carpinterías. Para ello se utilizaron los desechos de madera de la zona, mezclados, proporcionalmente con orina y heces fecales. Se indican los porcentajes y volúmenes de carga, la relación entre agua, aserrín y volumen libre, volúmenes de gases producidos, tiempos de reacción, mediciones de pH y porcentajes de dióxido de carbono obtenidos, así como el tratamiento previo realizado al aserrín para des lignificarlo.

Fernández (2003) realiza un estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos, donde expone los resultados de la producción de metano con diferentes tiempos de retención hidráulica, utilizando minibiodigestores en los ensayos de varias mezclas de la biomasa tratada.

Carrillo (2004) expone que los biodigestores con alimentación batch se construyen cuando es difícil obtener la materia prima diariamente. A las dos semanas comienza la producción de biogás y continúa por unos tres meses. Cuando cesa se abre el digestor y se limpia, para cargarse de nuevo.

Caraballo (2006), en la temática de aprovechamiento de la energía de la biomasa aplica la metodología GBV para la selección, diseño y construcción del biodigestor atípico del ISMMM, donde utiliza tanques metálicos recuperados y agitador accionado por energía eólica (Savonius – Darreius).

Barrera (2006), en la temática de aprovechamiento de la energía de la biomasa hace una propuesta tecnológica para producir biogás con fines energéticos a partir del levantamiento de la generación de residuos biodegradables y su factibilidad, previa evaluación de la demanda en una entidad agropecuaria.

Guardado (2007) desarrolla un procedimiento para el diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, donde se correlacionan los datos estadísticos de los resultados de los levantamientos de los residuos biodegradables, las demandas de biogás, los parámetros de diseño de la instalación biodigestora, así como los requerimientos en

recursos materiales y de mano de obra.

Villanueva (2008) desarrolla un proyecto de producción de biogás para uso en el hogar, a partir de los residuales de la alimentación y estiércol de la cunicultura con una preparación previa de la mezcla seleccionada y ponderada, donde se da tratamiento al secado solar y humectación al material antes de someterlo al proceso de codigestión anaerobia.

Cobián (2008) desarrolla Tratamiento aerobio anaerobio de residuos ganaderos para obtención de biogás y compost donde estudia y caracteriza la cobiodigestión de residuos, aplicando ensayos semipilotos de sistemas continuos de recirculación de deyecciones bobinas, avícolas y de cosechas, logrando satisfactorios resultados de rendimiento biogás de 99,2 litros/kg (63,5% CH_4) y de biofertilizantes de excelente calidad.

Domínguez (2009) del Instituto de Investigaciones Porcinas en Cuba, recomienda Biodigestores del tipo Nicarao de diversas capacidades como componentes de Sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas, donde se facilita la selección de las dimensiones y la dosificación de los materiales constructivos.

Regalado (2009) realiza un estudio de la generación de biogás y fertilizante orgánico utilizando desechos orgánicos y lodos estabilizados, obteniendo rendimientos acumulados de biogás hasta 81 l/kg.

La Agencia Andaluza de Energía (2011) expone los resultados investigativos de los componentes del biogás en función del sustrato utilizado, siendo el rendimiento de hasta 90,7 m³ de Biogás/Tonelada de residuos y de ellos 54,4 m³ de CH_4 / Tonelada de residuos con base gallinaza.

Monterroso (2011) expone los resultados del estudio de la cobiodigestión de los efluentes del procesamiento de la harina de pota, mezclando con otras biomasas de residuales agropecuarios (tallos, hojas frescas y secas de plátano, Cascarilla de arroz,

rumen vacuno, vísceras de pescado y levadura fresca), donde se obtienen bajos rendimientos en biogás (≤ 13,2 litros/kg), pero un alto potencial como biofertilizante.

Terrero (2012) realiza una variante de la tecnología de fabricación de un biodigestor de mampostería y concreto para una granja porcina a partir de la demanda de biogás con destino al matadero de cerdos y un levantamiento de la generación de excrementos en ese establecimiento de una empresa de servicios.

Espinosa (2013) en XI Congreso de Ing**.** Hidráulica expone resultados de fabricación de planta de tratamiento de residuales de centro porcino para producción de biogás en biodigestor de campana móvil, con capacidad de 20 m^3/día y 2,65 m^3/día de lodos digeridos.

1.2- La biomasa como fuente de energía renovable

El término biomasa, según lo define el **Manuales sobre energía renovable: Biomasa (2001)**, se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía.

En los países donde su economía está basada en la agricultura, como las de los países centroamericanos, el uso apropiado de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos; además, es una solución para los problemas higiénico-ambientales.

Actualmente, los procesos modernos de conversión solamente suplen 3% del consumo de energía primaria en países industrializados. Sin embargo, gran parte de la población rural en los países subdesarrollados que representa cerca del 50% de la población mundial, aún depende de la biomasa tradicional, principalmente de leña, como fuente de energía primaria. Esta suple, aproximadamente, 35% del consumo de energía primaria en países subdesarrollados y alcanza un 14% del total de la energía

consumida en el nivel mundial, fuente: **Manual de Energía Renovable, Biomasa (2002).**

1.2-1. Recursos de la biomasa.

La biomasa se considera como una fuente renovable de energía porque su valor proviene del Sol. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono (CO_2) del aire y el agua del suelo en carbohidratos, para formar la materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen.

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y orígenes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas.

• **Plantaciones energéticas,** estas son plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años.

• **Residuos forestales, se obtiene a partir** de la producción de madera, donde sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

• **Desechos agrícolas, a**l igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía.

• **Desechos industriales, l**a industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de

todo tipo de carnes y vegetales cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

• **Desechos urbanos,** los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía "limpia".

1.2-2. Procesos de conversión y formas de energía

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la cogeneración.

Los procesos de conversión de la biomasa se pueden clasificar de tres formas

1. Procesos de combustión directa.
2. Procesos termo-químicos.
3. Procesos bio-químicos.

Procesos de combustión directa.

Esta forma de conversión se utiliza para la generación de calor a partir de la combustión de la biomasa directamente el sistema. Estos procesos, generalmente, son ineficientes

debido a que parte de la energía liberada se desperdicia en el proceso y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas. Estos resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo.

Procesos termo-químicos

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calórico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte. Para ello quema la biomasa bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, para romper su estructura y se genera compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que son usados como combustible. El proceso básico de trasformación de la biomasa se llama pirolisis o carbonización que incluye:

- Producción de Carbón vegetal
- Gasificación

Procesos bio-químicos

Estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termo-químicos. Los más importantes son:

- Digestión anaeróbica
- Combustibles alcohólicos
- Biodiesel
- Gas de rellenos sanitarios

Formas de energía

Aplicando los diferentes procesos de conversión, la biomasa se puede transformar en diferentes formas de energía como calor, vapor, electricidad o energía mecánica. En la figura 2. se presentan los procesos de conversión y las formas de energías más relevantes a partir de la biomasa.

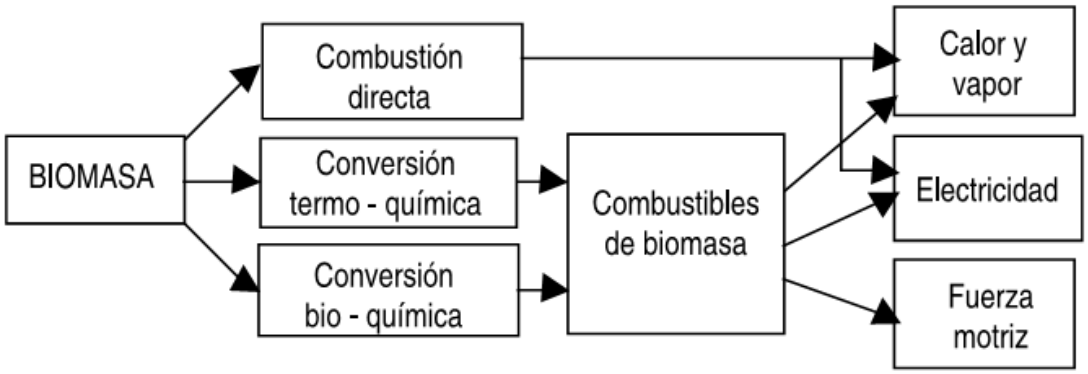

Figura 2. Procesos de conversión y formas de energía. Fuente Manual sobre Energía Renovable. Biomasa.

1.3- Estimación de la biomasa residual.

1.3-1. Estimación de la biomasa forestal

En este apartado se incluye la metodología seguida para el cálculo de la biomasa procedente de la explotación minera así como estimación de los costes asociados a los mismos.

La estimación de la biomasa existente en los diversos ecosistemas forestales se lleva a cabo a tres niveles denominados biomasa total potencial, biomasa accesible y biomasa disponible. Debe decidirse inicialmente el nivel de biomasa del cual se desea obtener los datos.

BT: biomasa potencial totales es aquella resultante de considerar el aprovechamiento de toda la superficie forestal arbolada nacional en la que se encuentran presentes aquellas especies de interés forestal.

BA: biomasa potencial accesible es aquella resultante de aminorar la total, considerando restricciones de índole ecológica, económica o de mecanización (figuras de protección, altitudes, pendientes, etc.); así como aplicar un coeficiente reductor (coeficiente de recogida) debido a la eficiencia en la recogida, ya que se deben dejar restos en el terreno por razones ecológicas además de la posibilidad de no ser recogido el 100% del material (mayor dificultad por pendiente, etc.).

BD: biomasa potencial disponible es aquella resultante de aminorar la accesible teniendo en cuenta otros usos como madera. Esta aminoración vendrá dada mediante un coeficiente de aprovechamiento de madera denominado Coeficiente de Cortas Actuales (CCA%).

Finalmente, se define la biomasa total, accesible y disponible a un coste, es decir, aquella biomasa cuyo coste de obtención sea inferior a un coste dado.

1.3-2. Base cartográfica

El cálculo de la biomasa conlleva un análisis cartográfico previo de identificación de aquellas superficies forestales susceptibles de aprovechamiento. A partir de esta cartografía se determinan y definen espacialmente las formaciones objeto de estudio, en este caso los sistemas forestales arbolados, así como las especies que los componen y su distribución (densidad de las masas, ocupación, etc.).

•**Mapa Forestal (MF).** A partir de esta cartografía se determinan y definen espacialmente las formaciones objeto de estudio, en este caso los sistemas forestales arbolados, así como las especies que los componen y su distribución (densidad de las masas, ocupación, etc.).

- **Mapa de Parques Nacionales (PPNN)** y otras figuras de protección. Dado que el Plan Director de estos espacios recomienda no actuar sobre ellos, al menos intensamente, favoreciendo la dinámica natural de sus sistemas forestales, se diferencian del resto de las superficies susceptibles de aprovechamiento. En el caso de otras figuras de protección también se tendrá en cuenta la presencia de éstas.

- **Mapa de Altitudes.** La altitud se considera un factor limitante, de tipo ecológico fundamentalmente, debido a que los sistemas forestales existentes a partir de determinada cota altitudinal, dependiente de las características del sistema en concreto, presentan fragilidad en cuanto a sus condiciones de vegetación en situaciones de corto periodo vegetativo, de limitada productividad forestal y elevado riesgo de erosión debido a tratarse de zonas de escasez de cobertura vegetal y fuertes pendientes. Por tanto, es obligada su exclusión en cuanto a los aprovechamientos forestales de carácter productivo.

- **Mapa de Pendientes.** La pendiente del terreno condiciona los rendimientos de los trabajos de aprovechamiento en función de los posibles sistemas logísticos.

- **Mapa de Productividad Potencial Forestal.** A partir de dicho mapa se obtiene información sobre la productividad de las estaciones forestales, en función del tipo de suelo y del clima de cada zona en la que se encuentran.

- **Mapa de Términos Municipales.** Se va a emplear la cartografía de Términos Municipales del INE.

- **Mapa de Red Viaria.** La red viaria existente será determinante a la hora del cálculo de costes de saca del monte y transporte hasta central.

1.4- Tecnología para la trasformación de la biomasa

La biomasa, por su propia naturaleza, requiere de una serie de pre tratamientos o transformaciones para ser objeto de un aprovechamiento energético eficiente. Las características que aparecen tanto en la biomasa agrícola como en la forestal son:

– Gran tamaño de las piezas (granulometría).
– Heterogeneidad y poca uniformidad.
– Elevado contenido en humedad.
– Reducida densidad.
– Gran dispersión de los residuos.
– Dificultad de transporte y manipulación.
– Presencia de residuos no aprovechables como arena, piedras, metales, etc

Cada tipo de residuo presenta los anteriores inconvenientes en mayor o menor medida. En residuos agrícolas (ramas, hojas, paja), y en los forestales (ramas y hojas verdes), pueden originar algunos problemas en equipos de tratamiento y manejo, tales como el taponamiento en los equipos de astillado, trituración, transporte y manipulación, abovedamientos en silos y tolvas de almacenamiento, fermentación de la biomasa amontonada perdiendo parte de su poder calorífico, e incremento de la humedad. Estas características son las que dificultan o incluso impiden, a veces, su aprovechamiento como combustibles. Al margen de su poder calorífico, es conveniente que los combustibles biomásicos tengan las siguientes propiedades:

- Homogeneidad y uniformidad.
- Aumento de su densidad natural mediante compactación.
- Humedad relativa baja.
- Limpieza. Deben estar exentos de contaminantes.
- Facilidad de manejo y almacenaje.
- Economía de transporte.

Para conseguir el acondicionamiento de la biomasa y las características necesarias para mejorar la valorización de la misma como combustible, es necesario realizar una serie de modificaciones. Generalmente, estos tratamientos se efectúan antes de la fase de transporte, para reducir el coste del mismo (manual Maquinaria agrícola y forestal).

Las **etapas fundamentales** en el pre tratamiento son:

Reducción de la granulometría: consiste en la homogenización y reducción del tamaño de la biomasa, dando la posibilidad de un transporte y almacenaje más sencillo y económico, e incluso la alimentación automática a diferentes equipos. En este proceso se utilizan sistemas de astillado, triturado, molienda, cribado, tamizado y disgregación.

Reducción de la humedad: fundamental para reducir costes de transporte, se consigue mediante secado. El secado es la fase más costosa de las transformaciones previas. Existen dos formas de secado distintas: secado natural y secado forzado. El secado natural es ideal para zonas con clima mediterráneo o continental y cuando la humedad de la materia prima sea elevada (>30%). Por el contrario, el secado forzado es mucho más costoso y sólo es necesario para algunos usos finales como la producción de pellets. En cuanto al secado natural se pueden distinguir dos casos:

- •Secado de residuos previo al astillado inicial.
- Secado natural de los materiales que han sido previamente astillados.

Densificación o compactación de la biomasa: consiste en reducir el volumen de la biomasa, consiguiendo minimizar el coste de transporte y almacenaje. Al mismo tiempo se evita la degradación por fermentación. En este proceso existen varias alternativas como son el pelletizado y briquetado, pero el único que nos interesa en este capítulo es el empaquetado o empacado.

Eliminación de componentes no deseados: consiste en eliminar residuos extraños, como metales, plásticos, piedras. Se aplican técnicas de cribado, separación por gravedad, imanes, trillado manual, etc.

En función del tipo de biomasa, el estado en que es recogida y las características finales que ha de tener, se realizan una serie de tratamientos, estando relacionados directamente con la aplicación final del combustible y su precio. Se puede distinguir entre dos tipos de maquinaria: la utilizada con la biomasa leñosa y la utilizada con biomasa herbácea.

1.5- Caracterización de las producciones y forestal y agrícola en Moa

Según el informe de desarrollo local de Moa hasta el 2020 plantea que el desarrollo de la actividad agropecuaria es de vital importancia para satisfacer las demandas de alimentos del municipio y de otros territorios, así como para sustituir importaciones. Con las producciones de viandas, hortalizas, granos, arroz, carne, leche, café, y madera, así como para incrementar el coeficiente de uso de la tierra y la eficiencia en la utilización del recurso agua, además de generar fuentes de empleos en este territorio. La estrategia de desarrollo en este sector está encaminada a desarrollar y optimizar los planes agropecuarios de acuerdo a la vocación del suelo agrícola, en los consejos populares Centeno, Yaguaneque, La Melba, Farallones y Calentura.

En la actualidad el comportamiento de alimento se comporta de la manera que se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Comportamiento del plan de nutriente

Municipio	***Energía (kcal)***			***Proteínas (grs)***			***Grasas (grs)***		
	Plan	***Real***	***%***	***Plan***	***Real***	***%***	***Plan***	***Real***	***%***
Moa	*2791.0*	*3121.0*	*112.0*	*56*	*70.87*	*126,5*	*72.0*	*81.89*	*113.7*

Para los próximos seis años se propone el incremento de estos nutrientes tal como representa en la tabla siguiente (tabla 1.2)

Tabla 1.2. Planificación de la satisfacción de los productos por año.

Indicador	% de satisfacción por años						
	2014	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**
Viandas	40	49	75	86	90	100	100
Granos	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Hortalizas	25	25	36	37	40	48	56
Frutas	16	44	56	74	78	78	78
Leche Ind	0	0	16	33	78	90	101
Carne aves	2.2	2.2	5	4	4	4	4
Carne Res	60	60	57	50	51	53	59
Carne Porc	13	23	31	37	47	48	48
Carne Ovino	20	24	25	36	42	50	60
Huevos	72	118	110	107	100	100	100
Leña Comb	100	100	100	100	100	100	100
Carbón Veg	100	100	100	100	100	100	100
Mulos	100	100	100	100	100	100	100

Para lograr estos objetivos planifica el incremento de las producciones en los diferentes renglones de la economía que están involucrados en esta tarea se realizaran las siguientes mejoras:

Industria y aprovechamiento forestal:

- Mejoramiento de la industria existente con la compra de nuevos aserraderos.
- Modernizar la carpintería existente.
- Adquisición de un horno para el secado de madera aserrada de manera artificial.
- Construcción de 2 naves de almacenamiento para el carbón de exportación.
- Adquisición de 2 aserraderos móviles.

Para lograr hasta el 2020:

- Madera en bolos ---------- 11,900.0 m^3

- Madera aserrada --------- 6,500.0 m^3
- Madera rolliza ---------- 4,720.0 m^3
- Leña para combustible---- 17,500.0 m^3
- Carbón ---------- 1040.0 ton
- Para exportación ---------- 800.0 ton

Agricultura

También en la industria agricultura se proyectaron el incremento en la producción. Según el plan mostrado en la tabla 1.3 las producciones de los cultivos varios para los próximos años serán de la siguiente manera:

Tabla 1.3. Plan de producción de productos varios hasta 2020

Cultivos	U/M	Real 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total Viandas	**t**	1500	**2347**	**3035,9**	**4856**	**5874,8**	**6436**	**6546**	**7059**
Boniato	t	345	275,64	518	876	1110	1110	1110	1310
Malanga	t	16	4,2	31,4	65,8	65,8	65,8	65,8	74,2
Yuca	t	222	175,9	562,5	933	1123	1198	1198	1443
Ñame	t	17	7,04	22	62	62	62	62	62
Plátano total	**t**	**708**	**1073,8**	**1902**	**2919,5**	**3514**	**4000**	**4110**	**4170**
P. Fruta	t	8	50	150	240	340	340	340	400
P. Vianda	t	4	73,6	174	296	498	498	498	498
P. Burro	t	695	950,2	1578	2383,5	2676	3162	3272	3272
Total Hortalizas	**t**	517	**805,1**	**854**	**1286,4**	**1375,2**	**1467,2**	**1515,2**	**1535,2**
Tomate	t	8	17,6	78	172	188	188	236	236
Cebolla	t		0	3	6,4	7,2	7,2	7,2	7,2
Pimiento	t		0	4	9,6	12,8	12,8	12,8	12,8
Calabaza	t	188	116,4	176	293,6	332	332	332	352
Pepino	t	3	8,7	30	50	58	90	90	90
Col	t		1,6	15	28,8	33,6	33,6	33,6	33,6

Tabla 1.4. Plan de producción de productos varios hasta 2020

Cultivos	U/M	Real 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Otras hortalizas	t	319	660,8	551	732,4	750,8	810,8	810,8	810,8
Total Granos	**t**	3,6	**9,5**	**11**	**16,4**	**16,4**	**16,4**	**16,4**	**16,4**
Maíz	t	2,4	3,5	7	10	10	10	10	10
Frijol	t	1,2	6	4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Frutas Total	**t**	119	**172,2**	**504**	**674**	**973**	**1038**	**1038**	**1388**
Mango	t	45	54,29	249	249	528	528	528	628
Coco	t	66	49,86	105	255	255	255	255	505
Otras Frutas	t	8	68	150	170	190	255	255	255
Total	**t**	**2140**	**3334**	**4404,9**	**6816,7**	**8239**	**8957**	**9115**	**9999**

Además se espera que para el año 2020 la producción de café y cacao se incremente a:

- Café ----------29,580.0 latas
- Cacao ---------- 15.0 ton

Por cada producto relacionado en las anteriores tablas se generan desechos que pueden ser un recurso potencial para usarse como biomasa para la generación de energía como materia orgánica para el enriquecimiento del suelo.

1.6- Conclusiones del capítulo

- Se exponen las generalidades sobre la biomasa y la generación de energía a partir de la biomasa residual.
- Se realiza la caracterización de las producciones agrícolas y forestales en el municipio de Moa .

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LA BIOMASA AGRÍCOLA Y FORESTAL.

2.1- Herramientas y métodos de trabajo

Para el estudio del potencial energético de la biomasa agrícola y forestal en Moa es de gran importancia tener en cuenta los métodos para desarrollo de diagnóstico energético. En la investigación se analizaron los planes de producción en el sector de la agricultura y forestal hasta el 2020 para la evaluación y estimación de potencial energético de la biomasa residual en dichos sectores.

2.2- Herramientas y métodos de trabajo el diagnostico energético

2.2-1. Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en por ciento. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20 % de las causas que provoca el 80 % de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

Utilidad del Diagrama de Pareto.

- ❖ Identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser:.
- ❖ Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.
- ❖ Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora.

2.2-2. Estratificación

Cuando se investiga la causa de un efecto, una vez identificada la causa general aplicando el diagrama de Pareto es necesario encontrar la causa particular del efecto, aplicando sucesivamente Pareto a estratos más profundos de la causa general.

La estratificación es el método de agrupar datos asociados por puntos o características comunes pasando de lo general a lo particular. Pueden ser estratificados los gráficos de control, los diagramas de Pareto los diagramas de dispersión, los histogramas y otras herramientas de descripción de efectos.

Utilidad de la Estratificación.

- Discriminar las causas que están provocando el efecto estudiado.
- Conocer el árbol de causas de un problema o efecto.
- Determinar la influencia cuantitativa de las causas particulares sobre las generales y sobre el efecto estudiado.

Empleo de la estratificación.

La estratificación es un método de análisis, no consta de un diagrama particular. Consiste en utilizar las herramientas de diagramas para profundizar en las capas interiores de las causas. Si se estratifica un diagrama de Pareto, en cada capa se utiliza un diagrama de Pareto para encontrar las causas particulares más influyentes en el efecto estudiado. Si se estratifica un gráfico de control, se subdivide el gráfico en períodos, máquinas, áreas, etc. para encontrar la influencia de estos elementos en la variabilidad del gráfico. Si se aplica la estratificación a un diagrama de dispersión, se agrupan los puntos por materiales, fabricantes, períodos, etc. para encontrar las causas de una alta dispersión.

Uso del método de estratificación para el control y reducción de los consumos y costos energéticos:

- ❖ Identificar el número mínimo de equipos que provocan la mayor parte de los consumos totales equivalentes de energía de la empresa.
- ❖ Identificar el número mínimo de las causas de pérdidas que provocan la mayor parte de los sobreconsumos de energía de la empresa.
- ❖ Identificar el número mínimo de áreas o equipos que provocan los mayores costos de energía de la empresa.
- ❖ Identificar factores o variables de control que pueden influir sobre los consumos, pérdidas y costos energéticos.
- ❖ Identificar causas de comportamientos no esperados de las variaciones de los consumos energéticos.

2.2-3. Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E – P vs. T)

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos.

Utilidad de los gráficos E-P vs. T.

- ❖ Muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción.
- ❖ Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

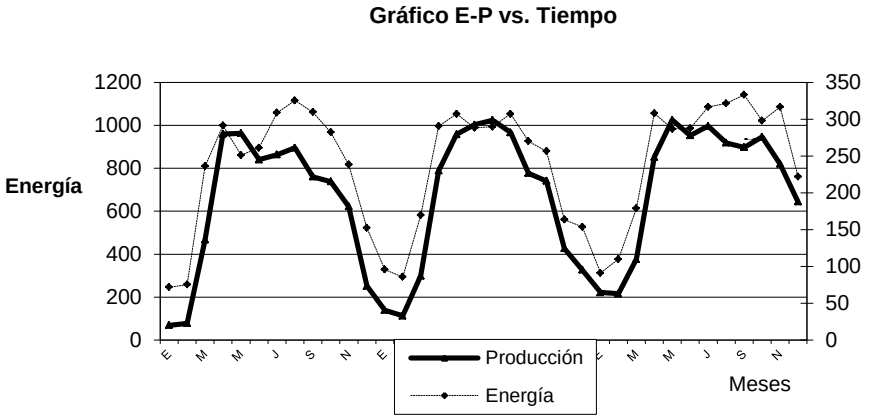

Figura 2.1. Gráfico de consumo y producción en el tiempo

¿Cómo preparar un gráfico E-P vs. T?

❖ Se registran los valores de consumo energético y de producción asociada a los mismos en períodos de tiempos homogéneos (día, mes, año,).

❖ Se grafican en un diagrama x, y la curva de variación en el tiempo de la producción y del consumo. En el caso que la escala de valores de producción y consumo sea muy diferente, será necesario realizar un gráfico de 2 ejes del tipo x, y_1, y_2.

❖ Se comparan las tendencias de variación de la producción en cada período (de un día a otro, de un mes a otro). con las tendencias de variación del consumo y se identifican los períodos donde ocurren variaciones anormales.

Variaciones anormales en el gráfico E-P vs. T

Generalmente debe ocurrir que un incremento de la producción produce un incremento del consumo de energía asociado al proceso y viceversa.

Comportamientos anómalos son:

❖ Incrementa la producción y decrece el consumo de energía.

❖ Decrece la producción y se incrementa el consumo de energía.

❖ La razón de variación de la producción y el consumo, ambos creciendo o decreciendo, son significativos en el período analizado.

El gráfico E-P vs. T puede acompañarse de una tabla de variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo que permite la evaluación numérica de las anomalías descritas. La misma se confecciona a partir de los datos obtenidos como se muestra en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Tabla para la evaluación numérica del gráfico E-P vs. T

Período	Consumo	% variación del consumo	Producción	% variación de la producción	Comportamiento

Donde:

Período: es el tiempo en que se mide el consumo y la producción: día, semana, mes, año, etc.

Consumo: el valor del consumo de energía en las unidades del portador energético que se evalúa.

Porciento variación del consumo: (valor anterior – valor actual)/valor anterior x 100. El % de variación será negativo si se disminuye el consumo y positivo si se incrementa de un período a otro. El primer período no tiene valor anterior, por lo que se ignora el porciento de variación.

Producción: el valor de la producción en las unidades productivas.

Comportamiento: se escribe anómalo si los signos del porciento de variación del consumo y de la producción son diferentes. También se escribe anómalo si los signos son iguales pero los valores de los porciento son significativamente diferentes a las diferencias medias.

Uso del gráfico E-P vs. T para identificar factores que influyen en el consumo.

- Seleccionar indicadores cuantitativos y cualitativos de producción que pueden influir en los consumos.
- Recopilar los datos de esos factores en los períodos que se analizan en el gráfico.
- Comparar las variaciones de esos factores individualmente y de combinaciones de ellos, con las variaciones que ocurren en los comportamientos anómalos.
- Sacar conclusiones acerca de los factores que influyen.
- Verificar las conclusiones obtenidas en los períodos no anómalos.

2.3- Método de la estimación del potencial energético procedente la biomasa residual

En el estudio de la estimación del potencial energético procedente de la biomasa residual se debe abordar desde el punto de vista de la perspectiva territorial basada en la distribución de las superficies ocupadas por cada cultivo.

En el cual ofrece la información sobre las variables de producción agrícola y desechos generados, estas informaciones se recogen o se estima a partir de distintas fuentes.

2.3-1. Estimación de la biomasa residual

Una vez obtenidas las superficies de los distintos cultivos, el potencial de biomasa residual se estima utilizando un índice de producción de residuo específico de cada cultivo. El índice de residuo (IR) relaciona la producción de residuos con el rendimiento productivo del cultivo (kg de residuo /kg de producto) o con la superficie (kg de residuo/ha. Año).

Según Callejo *et al* (2008), la biomasa residual se calcula mediante las expresiones siguientes, según se utilice un IR basado en el rendimiento (1) o en la superficie (2):

$$(1)\quad \text{Biomasa residual}\left(\frac{kg}{año}\right) = S(ha) \times \eta\left(\frac{kg\ producto}{ha \times año}\right) \times IR\left(\frac{kg\ \ residuo}{kg\ producto}\right) \qquad (2.1)$$

$$(2)\quad \text{Biomasa residual}\left(\frac{kg}{año}\right) = S(ha) \times IR\left(\frac{kg}{ha \times año}\right) \qquad (2.2)$$

Donde

- S= superficie asignada al píxel de un cultivo determinado.
- η= rendimiento en producto del cultivo.
- IR= índice de residuo especifico de cada cultivo.

Relacionar la producción de biomasa residual con el rendimiento específico de la zona donde se localiza un determinado cultivo, hace que ésta dependa a su vez de las condiciones agroclimáticas y técnicas de cultivo empleadas. Por tanto, la estimación y representación geográfica de aquellos cultivos en los que ha sido posible utilizarla contempla la influencia de factores que, como el clima, inciden en la producción de biomasa residual, lo que se observa claramente al comparar la biomasa producida un año de sequía y la producida un año medio.

El índice de residuos es la relación de la cantidad de residuos totales y la biomasa de cosecha con humedad del campo los mismos se asumieron en la bibliografía especializada, este variar según algunos autores debido a que estos no son estándar sino que pueden variar en dependencia del rendimiento de los cultivos, la ubicación geográfica, las condiciones climáticas, etc. Lo que se recomienda es determinarlo experimentalmente a partir de la cantidad de producto, masa húmeda y seca de los residuos.

2.3-2. Estimación del potencial energético

Una vez obtenida la producción de biomasa residual de cada cultivo, la densidad energética superficial (tep/ha) se calcula aplicando un poder calorífico según el tipo de residuo y en función de su contenido en humedad. La humedad a la que se expresa el poder calorífico (ver anexo 1 tabla poder calórico bajo) es la que contiene la biomasa producida según el índice de residuo considerado.

$$Energía\left(\frac{tep}{año}\right) = Biomasa\ residual\left(\frac{kg}{año}\right) \times PCI_h\left(\frac{kcal}{kg}\right) \times \frac{1}{10^7}\left(\frac{tep}{kcal}\right) \quad (2.3)$$

2.4- Características técnicas de los combustibles.

Todos los combustibles, que son utilizados en instalaciones energéticas y motores se diferencian ostensiblemente por sus propiedades físico-químicas, siendo las significativas las siguientes:

Composición de su masa orgánica:

- Ceniza.
- humedad.
- sustancias volátiles.
- valor calórico.

Estas propiedades determinan la forma de combustión de dicho combustible y siempre deberá tenerse en cuenta en los cálculos para el análisis del proceso de combustión.

La característica más importante en un combustible es su composición química elemental y por lo tanto es importante para analizar la mayoría de los procesos que ocurren con el combustible en una instalación industrial.

Todos los combustibles sólidos y líquidos tienen la siguiente composición química elemental:

- C- carbono
- H- hidrógeno
- W- humedad
- A – ceniza
- O - oxígeno
- S - azufre
- N - nitrógeno

De estos los elementos combustibles son:

- C- carbono
- H- hidrógeno
- S- azufre

De estos tres el de mayor cantidad es el Carbono y el de mayor valor calórico es el Azufre, que está compuesto por Azufre en forma de Sulfatos que no es inflamable y sale con la ceniza y el Azufre orgánico y en piritas (Fe S2) que si es inflamable, es un componente indeseable y existe en pequeñas cantidades.

Constituyen el lastre interno del combustible:

- O- oxígeno
- N- nitrógeno

Pues el primero actúa como carburante y el segundo no reacciona. Por último.
Constituyen el lastre externo del combustible:

- W- humedad
- A - ceniza

Para expresar la composición química elemental de un combustible se hace de la siguiente manera:

$$C + H + O + N + S_{o+p} + W + A = 100\% \quad (2.4)$$

También puede expresarse de la siguiente manera:

Con ausencia de humedad:

$$C^s + H^s + O^s + N^s + S^s_{o+p} + A^s = 100\% \quad (2.5)$$

Con ausencia de humedad y ceniza:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + S^c_{o+p} = 100\% \quad (2.6)$$

(Masa inflamable o combustible)

Para los cálculos en ingeniería se expresa de la siguiente manera:

Como masa de trabajo:.

$$C^t + H^t + O^t + N^t + S^t_{o+p} + A^t + W^t = 100\% \quad (2.7)$$

Tabla (2.2) Nombre de la tabla

Masa de combustible que se tiene.	Masa combustible que se desea obtener		
	De trabajo	Seca	inflamable
De trabajo	1	$\frac{100}{100 - W^t}$	$\frac{100}{100 - W^t - A^t}$
Seca	$\frac{100 - W^t}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^s}$
Inflamable	$\frac{100 - W^t - A^t}{100}$	$\frac{100 - A^s}{100}$	1

Y esta es la que dan internacionalmente todas las literaturas y revistas técnicas y científicas.

Ahora se puede hacer conversión de una masa a la otra y puede verse en la anterior Tabla (2.2)

Los combustibles gaseosos generalmente se escriben como la suma de los gases que lo componen, (en porcentaje), por ejemplo:

$$CO + H_2 + CO_2 + CH_4 + C_nH_m + O_2 + N_2 + H_2O = 100\% \quad (2.8)$$

Una de las más importantes características termo técnicas de los combustibles sólidos es que se descomponen en:

$$V + K + W + A = 100\% \quad (2.9)$$

- sustancias volátiles (V)
- coque (carbón) K
- humedad W
- ceniza A

Durante el calentamiento de los combustibles sólidos ocurre la desintegración térmica de complejos inestables, formados por enlaces de hidrocarburos en la masa de combustible y se produce el desprendimiento de gases combustibles, estos son:

- hidrógeno
- hidrocarburos
- óxido de carbono

y otros gases no combustibles, CO2 y H2O.

Estos constituyen las sustancias volátiles y juegan un importante papel durante la ignición en las etapas iniciales de la combustión. En los combustibles fósiles mientras

más viejos tienen menos sustancias volátiles y los combustibles a partir de la biomasa tienen alto contenido de sustancias volátiles.

La composición química elemental de un combustible permite también determinar su valor calórico. El valor calórico de un combustible representa la cantidad de calor que se desprende por la combustión completa de una unidad de masa de combustible (para gases de una unidad de volumen) y puede expresarse en: J/kg; kcal/kg, J/m3, kcal/m3. El valor calórico puede ser alto o superior, bajo o inferior.

El valor calórico alto es la cantidad de calor que se desprende de la combustión completa de 1 Kg. de combustible sólido o líquido o m3 de combustible gaseoso, si para determinadas condiciones de presión y temperatura se produce la condensación del vapor de agua contenido en los gases producto de la combustión. Si no ocurre esto, o sea, que el vapor de agua contenido en los gases producto de la combustión se quede en forma gaseosa, entonces se llama valor calórico bajo, porque parte del calor se usa para la formación de dicho vapor de agua.

La relación que existe entre el valor calórico alto y bajo se puede escribir de la siguiente forma:

$$Q_A^t - Q_B^t = G_{H2O}\lambda_p \qquad (2.10)$$

Donde:

- QAt - valor calórico alto (kJ/kg, kcal/kg).
- QBt - valor calórico bajo, (kJ/kg, kcal/kg)
- G H2O - masa de agua contenida en 1kg de combustible.
- λ_p - calor latente de formación del vapor = 2,15 MJ/kg.

$$G_{H2O} = \frac{9H^t + W^t}{100} \qquad (2.11)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$Q_B^t = Q_A^t - 0.00251(9H^t + W^t) \tag{2.12}$$

El valor calórico de los combustibles hay que determinarlos experimentalmente mediante una bomba calorimétrica, ya que el valor calórico de los combustibles líquidos y sólidos no se puede expresar como la suma de los valores calóricos de los elementos que entran en su composición química elemental.

En ausencia de datos experimentales para cálculos aproximados se puede determinar el valor calórico bajo de combustibles sólidos y líquidos utilizando la fórmula de Mendeleiev:

Poder Calórico Bajo para Combustibles Sólidos

$$Q_B^t = 0.339C^t + 11.03H^t - 0.109\left(O^t - S_{o+p}^t\right) - 0.0251W^t MJ/kg \tag{2.13}$$

Poder Calórico Bajo para Combustibles Líquidos

$$Q_B^t = 81C^t + 246H^t - 26\left(O^t - S_{o+p}^t\right) - 6W^t kcal/kg \tag{2.14}$$

El valor calórico para combustibles gaseosos se determina en un calorímetro de gases para 1 m^3 de gas seco. Pero en reacción química con el oxígeno lo hacen con una correlación de cantidades definidas. El gasto de oxígeno y la cantidad de producto de la combustión que se forman están determinados por la ecuación estequiometria de la combustión y se escribe para 1 mol de cada componente combustible o inflamable.

Para establecer el balance de materiales del proceso de combustión de combustibles sólidos y líquidos se utiliza la ecuación elemental de oxidación de los elementos que entran en la composición química elemental del combustible.

Para carbono:

$$C + O_2 \Leftrightarrow CO_2 + \Delta calor$$

$$12.01kgC + 32kgO_2 \Leftrightarrow 44.01kgCO_2$$

$$1kg + 1.866m^3O_2 \Leftrightarrow 1.866m^3CO_2$$

Para azufre:

$$S + O_2 \Leftrightarrow SO_2 + \Delta calor$$

$$32.06kgS + 32kgO_2 \Leftrightarrow 64.06kgSO_2$$

$$1kgS + 0.7m^3O_2 \Leftrightarrow 0.7m^3SO_2$$

Para hidrógeno:

$$2H_2 + O_2 \Leftrightarrow 2H_2O + \Delta calor$$

$$4.032kgH_2 + 32kgO_2 \Leftrightarrow 36.032kgH_2O$$

$$1kgH_2 + 5.55m^3O_2 \Leftrightarrow 11.1m^3H_2O$$

2.5- Selección de las producciones agrícolas y forestales para el estudio de la biomasa.

Para analizar algunos productos agrícolas se hicieron las consideraciones siguientes en el estudio del potencial energético de la biomasa residual agrícola:

- La producción.
- El ciclo de producción (el tiempo que se necesita para producir dicho producto)
- Y la forma de cosecha del producto

En siguientes tablas se muestran los productos de los cultivo y la explotación forestal para la estimación del potencial energético:

Tabla (2.3) producción anual de los cultivos varios en Moa

Cultivos	U/M	2010	2011	2012	2013	2014
Boniato	t	876	1110	1110	1110	1310
Malanga	t	65,8	65,8	65,8	65,8	74,2
Yuca	t	933	1123	1198	1198	1443
Ñame	t	62	62	62	62	62
Tomate	t	172	188	188	236	236
Calabaza	t	293,6	332	332	332	352
Coco	t	255	255	255	255	505
Maíz	t	10	10	10	10	10

Tabla (2.4). Producción anual de industria forestal

Producto Forestales	2010	2011	2012	2013	2014
Madera en bolo (m^3)	3114.8	4311.1	3522.6	5289.8	1709.4
Madera acerrada m^3	1557.4	2155.5	1761.3	2457.1	878.36
Carbón Vegetal t	215.21	243.4	238	650.05	320.06
Madera para combustible	1819.8	1412.5	2744.9	2609.6	653.5

2.6- Conclusión del capítulo

Se exponen los métodos para la realización del diagnóstico y para la estimación de la biomasa residual .

Se propone una metodología para determinación la energía disponible a partir de los residuos forestales y agrícolas.

Se realiza una selección de algunos productos agrícolas y forestales para la estimación de la energía a partir de los desechos generados de dichos productos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. VALORACIÓN ECONÓMICA-SOCIAL E IMPACTO AMBIENTAL.

3.1- Introducción

La evaluación final de una investigación es primordial para establecer en qué medida esta ha contribuido al desarrollo político, económico o social de un país o región. El correcto análisis permite además sentar las bases para futuros trabajos sobre la temática, de ahí su ineludible relación con la economía, la sociedad y el medio ambiente, en correspondencia con esto. El **objetivo** del presente capítulo es:

Analizar los resultados obtenidos en la investigación considerando el impacto económico-social y ambiental asociado a la misma.

3.2- Resultados obtenidos en el diagnóstico

Con los datos de las producciones de la agricultura y la explotación forestal en el período comprendido de 2010 al 2014 en el municipio de Moa se determinó la generación de la biomasa potencial total y el potencial de la biomasa disponible a partir de los residuos de la agricultura y la forestal (tabla 3.1). Para determinar el potencial de la biomasa disponible o la biomasa a partir de los residuos se asumieron los índices de generación de residuo propuesta por la bibliografía especializada para algunos productos y para determinar la energía disponible se obtuvo en función de la biomasa residual y el Poder Calórico Bajo.

Tabla(3.1) Potencialidades de la biomasa disponible y de la energía disponible a partir de los desechos agrícolas en el período de 2010 a 2014

sector	IR	producción de residuos (T)					PCI kcal/kg	Energía disponible				
		2010	2011	2012	2013	2014		2010	2011	2012	2013	2014
Boniato	0,1	87,6	111	111	111	131	1200	0,79	1,3	1,29	1,29	0,15
Malanga	0,2	13,16	13,16	13,16	13,16	14,84						
Yuca	0,2	186,6	224,6	239,6	239,6	288,6	1200	3,14	3784	5,17	5,1754	6,23

Tomate	0,1	17,2	18,8	18,8	23,6	23,6						
Calabaza	0,2	58,72	66,4	66,4	66,4	70,4						
Coco	0,4	102	102	102	102	202	6000	61,2	61,2	61,2	61,2	121,2
Maíz	2	20	20	20	20	20						
Producción forestal												
En bolo	1,5	4252	5885	4808	7221	2333,3	4000	1700,68	2354	1923,3	2888,2	933,33
Carbón	1	215,2	243,4	238	650,1	320,06	7500	161,40	183	178,5	487,54	240,05
combustible	1	1656	1285	2498	2375	594,69	4000	662,40	514	999,14	949,89	237,87

3.3- Potencial de la biomasa en Moa

El primer resultado de la evaluación es la constatación de la existencia de una la cantidad de recursos de biomasa, provenientes de muy diversas fuentes tanto agrícola como forestal pero no todas contribuyen de manera considerable al total de biomasa disponible .Según el diagnóstico se determinó el potencial de la biomasa total en los sectores de la agricultura y forestal en el municipio de Moa que más de 60% del total está representado por la biomasa obtenida a partir de los recursos forestal con la producción de madera , la tala de árboles para combustible y desbroce en explotación minera figura (3.1), otro tipo de biomasa que más se destaca del resto, pero en menor medida, es la biomasa de la producción agrícola , en específico de la plantaciones de boniato y yuca con 13 y 14 % respectivamente , las restantes están por debajo de 5 % a causa de las producciones tan pobres por lo que su empleo como fuente de energía renovable no es muy factible.

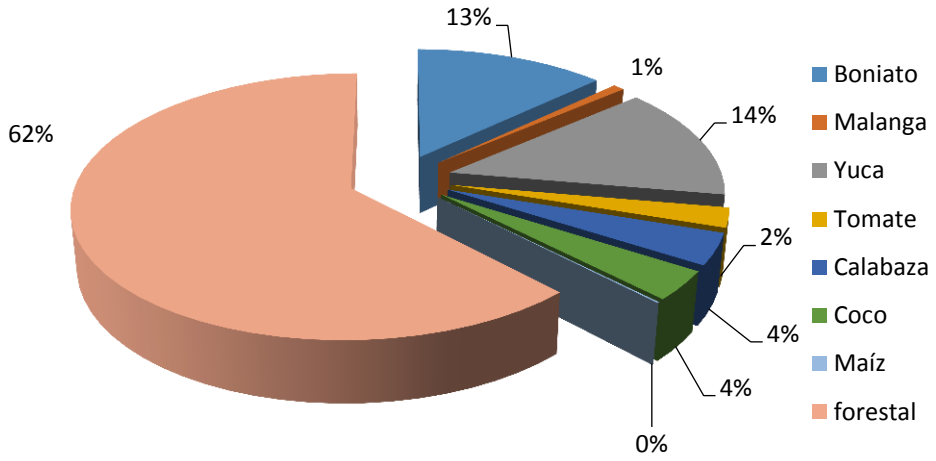

Figura 3.1. Promedio del potencial de la biomasa total por sectores en el municipio de Moa.

Para la determinación de la biomasa residual se obtiene a partir de los índices de generación de residuos. El índices de residuo para distintos cultivos se encuentran referenciados en la bibliografía especializada (ver la tabla 3.2 y 3.3) y su valor puede variar inclusive para un mismo tipo de cultivo. El mismo es una relación que proporciona la producción de biomasa residual en función de la producción o de la superficie del cultivo:

- Índice de residuo = kg de residuo / kg producto.
- Índice de residuo = kg de residuo / ha de cultivo

Tabla 3.2: Índices de residuos para algunos cultivos agrícolas en kg de residuos / kg de producto Fuente (Manual de la Biomasa)

Referencia bibliográfica	Índice de residuo (kg/kg)							
	Trigo	Girasol	Cebada	Maíz	Arroz	Sorgo	Avena	Centeno
CENER-CIEMAT[55]	1,20	1,50	1,30	2,00	-	-	1,30	-
Alonso, J.J. ETSIA-UPM[56]	1,20	-	1,35	2,73	-	-	1,35	2,50
Fernández, J.[57] ETSIA-UPM	1,20	2,00	1,30	1,35/1,45	1,50	1,70	1,40	1,40
IPCC[58]	1,30	1,20	1,00	1,40	1,40	1,30	1,60	1,40
FAO[59]	0,57	-	0,57	0,43	0,58	-	0,57	-
EUBIOMET[60]	1,00	1,41	0,81	0,57	-	-	0,79	-
Di Blasi et al.[61]	0,7	1,41	0,80	0,88	0,62	-	0,70	-
Domínguez et al.[62]	1,20	1,50	1,30	2,00	-	-	1,30	-

Tabla 3.3. Índices de residuos forestales

Residuos	Coeficiente de residuos (m^3/m^3madera)
Aserrín	0.87 a 0.91
virutas	0.25 a 0.39
Astilla	0.22 a 0.30
Total	1.5

A partir de los desechos generados de esos productos es que se obtiene la biomasa residual o sea la biomasa disponible, los resultados obtenidos en el diagnóstico esta se representa en la figura 3.2. en la cual se muestra la distribución del potencial de la biomasa residual disponible por año para cada producto.

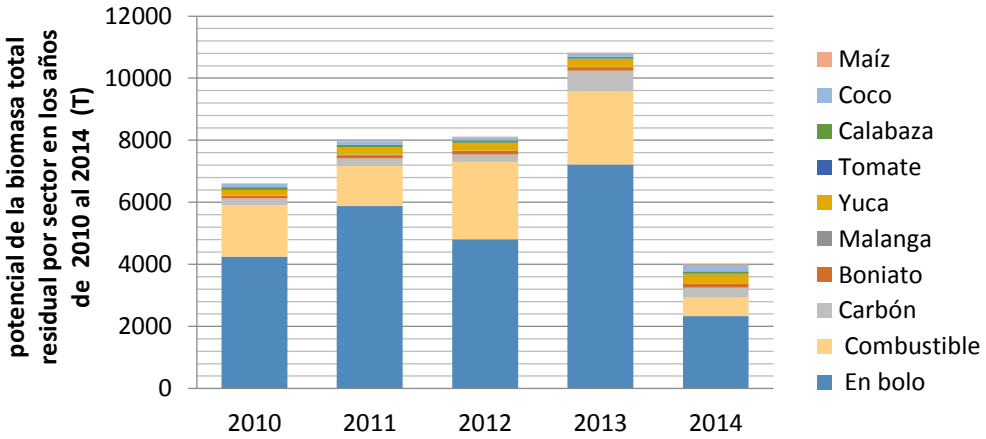

Figura 3.2. Potencial de la biomasa total residual por sector en los años de 2010 al 2014

Según se, muestra en la figura 3.4 lo índices de generación de biomasa residual que mayor representatividad tienen son de las producciones forestales, los residuos obtenidos de la madera en la elaboración de tablas, horcones, bigas y todo tipo de productos para la construcción. Seguido de este está la biomasa forestal para uso como combustible y para la producción de carbón.

3.4- La energía potencial

A partir de la biomasa residual se determinó la energía potencial, donde se obtuvo que la mayor energía disponible es producto de la biomasa residual de la madera como lo muestra la figura (3.5) seguido de la madera para combustible y para la producción de carbón .

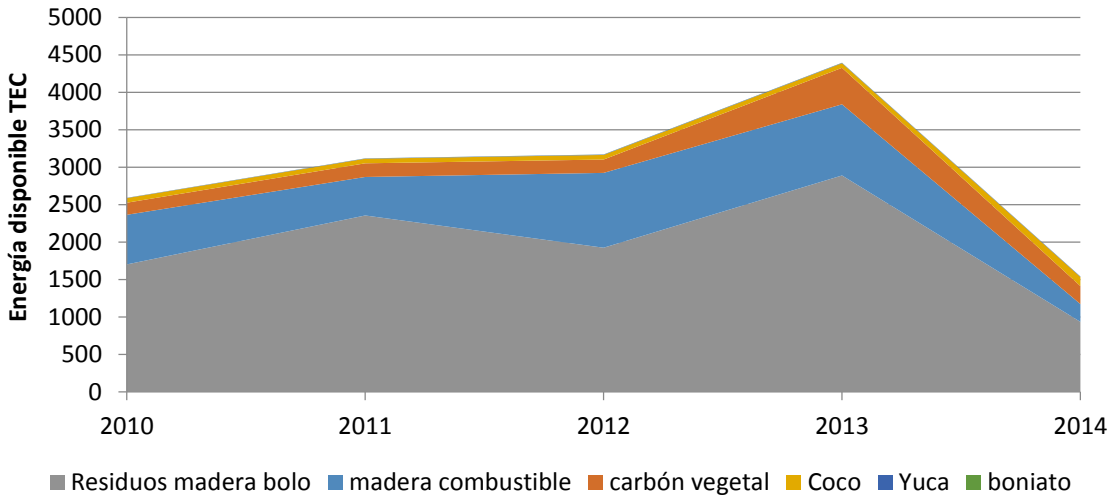

Figura 3.3. Energía disponible a partir de la biomasa residual

La energía disponible (TCE/ año) de la biomasa residual se determinó en función del PCI de cada elemento o tipo de residuos generados. De acuerdo con estos resultados

se evaluó viabilidad de generar energía eléctrica a partir de la biomasa residual producto de la actividad forestal.

La utilización de los residuos de la industria forestal como combustible para la producción de electricidad y calor, requiere de ciclos térmicos de potencia con el empleo de calderas o gasificadores con turbinas de gas y/o vapor como se muestra en la figura 3.4.

Este ciclo consta con una cámara de combustión (G), en el cual se produce la combustión de la biomasa. De la cámara de combustión se trasladan los gases al intercambiador (TC) donde se calienta el aire proveniente del compresor (C) para luego pasar a la turbina de gas (RG). El aire que sale de ésta turbina junto con los gases que provienen del intercambiador es introducido en la caldera recuperativa (CR) para la producción de vapor. Este vapor es utilizado en la producción de energía en la turbina y el vapor de escape de esta se utiliza en el secador de madera. El condensado del proceso de secado es alimentado a la caldera recuperadora por la bomba (B).

Un ciclo de éste tipo puede producir 69.13 kW/m^3 de residuos con intervalos de temperaturas de los gases de 1200 a 1400 K, la relación de presión de 10 y temperatura y presión del vapor de 31 atm y 450 ºC.

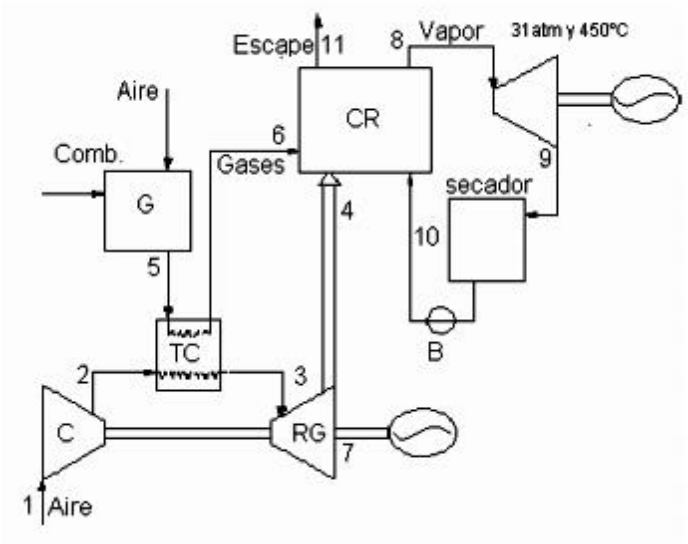

Figura 3.4. Ciclo simple de turbina con gas

Partiendo de la generación este ciclo se determinó la generación de energía con los residuos de la madera en, en la cual se determinó que se puede generar alrededor de 384 y 643 MW año en función de la biomasa residual disponible ver figura 3.5.

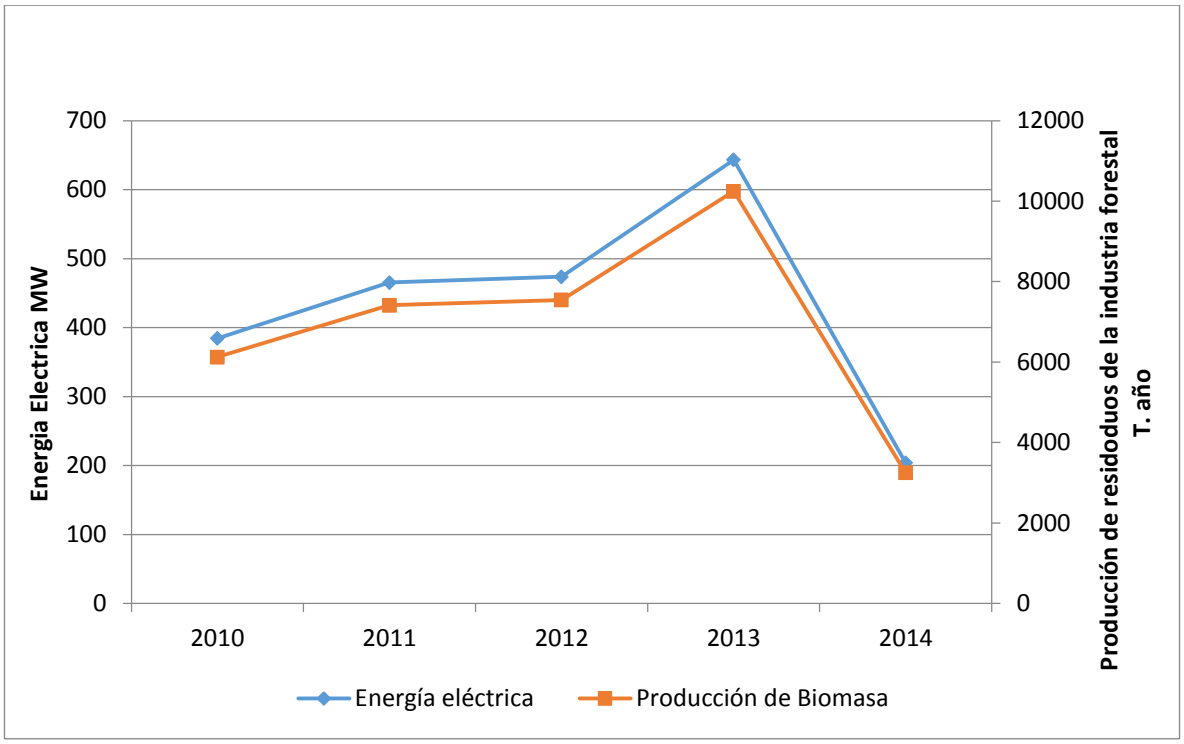

Figura 3.5. Generación de energía eléctrica y producción por año

3.5- Valoración económica

Según su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo, la cual, puede variar según la composición química de éste, se ha tomado un valor convencional de:

41 868 000 000 J (julios) = 11 630 kWh (kilovatios-hora).

Es decir 1 tonelada de petróleo se puede generar alrededor de 11,6 MW/h.

A partir de la energía eléctrica generada de con la biomasa donde el promedio de generación en los años analizados que comprenden del 2010 hasta el 2014 es de 492 MW/año que para producir esa energía en una central termoeléctrica se necesitaría alrededor de 42 T de petróleo. Multiplicando el precio del petróleo a nivel mundial 114,17 Dólares el barril se ahorraría el país cerca de 35752,1 dólares al año por concepto de importación de petróleo.

3.6- Impacto medioambiental

Desde su celebración y bajo la iniciativa de Naciones Unidas, se han ido desarrollando diversos instrumentos y acuerdos internacionales sobre los bosques y política forestal:

- Creación de un Panel Intergubernamental sobre Bosques, en 1995 que posteriormente se transformó en un Foro Intergubernamental sobre Bosques.
- Creación en el 2001 del Foro Permanente de las Naciones Unidas sobre Bosques.

Sin embargo la falta de acuerdos vinculantes ha provocado que, según la FAO, se haya mantenido durante los años 90 y primeros años del nuevo siglo, el ritmo anual de destrucción de bosques naturales, cifrado en 16.000.000 has (estimándose que en los últimos 20 años la superficie de bosques destruida equivale al territorio de la India).

Protocolo de Kioto

Entre las medidas propuestas en la Unión Europea para su el logro de los objetivos planteados están, la promoción de las instalaciones CHP o de cogeneración o producción combinada de calor y electricidad, la promoción de los biocombustibles y las medidas y políticas que favorezcan la eficiencia energética.

Su alcance incluye las instalaciones de combustión para generación eléctrica y cogeneración mayores de 20 MW, no incluyéndose las plantas o las emisiones generadas por la combustión de biomasa o residuos. Ya que la evaluación se realiza

para los residuos forestales no tiene ni menor o mayor impactos en los bosques la generación de energía a partir de los residuos de la madera, además el incremento del uso de las biomasas residuales tiende a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, siempre que remplacen los combustibles fósiles, según se muestra en la tabla 3.4 los índices de generación de CO2 y SO2 de distintos combustibles, donde el menor índice de generación es de la madera. Por otra parte las emisiones de CO2 procedentes de la madera no contribuyen al efecto de invernadero.

Tabla (3.4). índice de emisiones de gases de los combustibles

Combustibles	g CO_2/MJ	gvSO_2/MJ	Kg cenizas/ MWh combustible
Turba	106	202	8
Madera	106/114*	25	4
Fuel oil	77,4	464	0
Gasóleo	74,1	85	0
Gas Natural	56	0	0
Carbón, hulla-antracita	94,6	705	14

* Las emisiones de CO_2 de los combustibles procedentes de madera no computan como emisiones de efecto invernadero, porque su efecto neto es nulo

3.7- Conclusiones del capítulo

Se exponen los resultados obtenidos en el diagnóstico donde se determinó que la biomasa producto de la industria forestal es el 60 %

La mayor energía potencial disponible es a partir de los residuos de la industria forestal.

Se propone un ciclo combinado de vapor con gas para la generación de energía eléctrica con los residuos forestales.

Conclusiones generales:

Se realizó el estudio bibliográfico sobre la generación de energía a partir de la biomasa donde se obtuvieron los índice se residíos, poder calórico, coeficientes de húmeda de los productos analizados de las producciones agrícolas y forestales.

El análisis de los residuos agrícolas y forestales se comprobó que el mayor potencial está representado por los residuos forestales con el 62% y en la agrícola 38% por lo que se determinó la viabilidad de la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la madera.

Para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la madera se propuso un ciclo térmico de potencia con el empleo de calderas o gasificadores con turbinas de gas o vapor el cual se utilizara en un ciclo combinado de gas generando como promedio 492 MW/año que equivale a 42T de petróleo.

A partir de la generación de electricidad con los residuos de la madera el país se ahorraría alrededor de 35752.1 dólares al año por concepto de importación de petróleo.

De determinó en el impacto medioambiental el empleo de este proceso reduce las emisiones de gases como el dióxido de carbono (CO_2) y el SO_2, gases que contribuyen al efecto invernadero de nuestro planeta.

RECOMENDACIONES

1. Proponer la socialización del presente trabajo de investigación en los diversos municipios del país con mayor potencialidades de residuos agrícolas y forestales. En el racionamiento de los portadores energéticos y financiamientos para el uso eficiente de energías renovable a partir de biomasa.
2. Implementa los cultivos energéticos forestales de rápido crecimiento en los terrenos poco productivo de nivel 3 y 4 con el fin de suministrar madera a la industria para la producción de energía constante y ser un pulmón de oxígeno para Cuba.
3. Aumentar los procesos termoquímicos para la elaboración de carbón vegetal en primer escala para su uso por ejemplo; de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, calderas, secado de granos entre otros. Adicionalmente se lograría exportar mayor cantidad de carbón para Europa aumentando la demanda en el mercado ya que este es muy utilizado como calefacción.

Bibliografía

1. Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de setiembre, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuetes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L283/33 (2001).

2. Cámara de Diputados, Estados Unidos Mexicanos (2008). Precios Internacionales del Petróleo en el Mercado de América. [En línea]. Disponible en: http://www3.diputados.gob.mx/ (Consulta: Marzo 2008).

3. International Energy Agency (2007). World Energy Outlook 2006. [En línea]. Disponible en:

4. British Petroil (2007). BP Statistical Review of World Energy June 2007. [En línea]. Disponible en: http://www.bp.com(Consulta: Marzo 2008)

5. Espinosa M., Proyecto "arrastre hídrico" en los fosos de depósito del estiércol en las naves avícolas, "Primer Taller de Residuales Avícolas", La Habana, 1986.

6. Field Jim. www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/000866/000866c.pdf. Medición de Metano del Biogás. *Universidad Agrícola de Wageningen, Holanda, 1987, tomado de Internet: 28/05/2013.*

7. Rodríguez-Vázquez, R., Villanueva-Ventura, G. y Rios-Leal, E. Sugarcane Bagasse pith dry pretreatment for single cell protein production. Bioresource Technology, 39, 17-22. 1992.

8. Guardado J. Diseño, construcción y mantenimiento de pequeñas plantas de biogás. Curso de Postgrado. UNAICC, Villa Clara, 2000.

9. P. Martina, L. Yank, J. Corace, R. Aeberhard (2003) cegae – Universidad del…cegae.unne.edu.ar/sige/Energía/biogás.doc. Ensayo en un biodigestor con aserrín

de diferentes maderas.

10. Fernández Castillo E. y otros, Estudio de las Condiciones de Operación para la Digestión Anaerobia de residuos Sólidos Urbanos. Universidad de Santander, Colombia, 2003.

11. Carrillo L. Energía de la biomasa, Conversión por microorganismos, Biogás, Etanol, Biodiesel, Edición del autor, S.S. Jujuy, 2004.

12. Hernández Sampier R. Metodología de la Investigación, Editorial Félix Varela, 2004.

13. Caraballo M. E. diseño y construcción del biodigestor atípico del ISMMM. ISMMM, Moa, 2006.

14. Barrera Cardoso E. Propuesta tecnológica para producir biogás con fines energéticos. Un estudio de caso en la Granja Remberto Abad Alemán, tesis en opción al grado de MsC, Universidad de Cienfuegos, 2006.

15. Guardado J. A. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas, CUBASOLAR, 2007.

16. Villanueva S. Miguel. www.youtube.com/watch?v=oBnJF-aOkP822 Jun. 2008. Proyecto de Biogás. Chimbote, México.

17. Cobian B. D. Tratamiento aerobio-anaerobio de residuos ganaderos para obtención de biogás y compost, Tesis en opción al grado de Doctor, Universidad de León. España, 2008.

18. Domínguez, P. Biodigestores como componentes de Sistemas agropecuarios integrados. Instituto de Investigaciones Porcinas. Punta Brava, La Habana. 2009.

19. Regalado Yépez D.A. Estudio de la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico Utilizando Desechos Orgánicos. Tesis en opción al título de Ingeniero Ambiental.

Universidad San Francisco de Quito, mayo, 2009.

20. Consejería Económica, Innovación y Ciencia.. Estudio Básico del Biogás. Agencia Andaluza de Energía. Septiembre, 2011.

21. Martínez L. S, Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña. Tesis doctoral, ISBN: 978 84 692 5161 4,Universidad de Girona, 2009.

22. Monterroso C. J, Estudio de los efluentes del procesamiento de pota en Piura y su potencial uso como fertilizante, Tesis en opción al Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas, Universidad de Piura, 2011.

23. Manuales sobre energía renovable: Biomasa, ISBN: 9968-904-02-3 Users Network (BUN-CA). -1 ed. -San José, C.R. 2002.

24. Mediacejas Granda I., Propuesta de un biodigestor a partir de una caracterización energética de la Unidad Básica de Producción Cooperativa “Rolando Lores Cuesta”, tesis en opción al grado de Máster en Eficiencia Energética, I.S.M.M.M, 2011.

25. Terrero O. Variante de la tecnología de fabricación de un biodigestor de mampostería y concreto para una granja porcina. Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico, 2012.

26. Espinosa M. Tratamiento del Centro Porcino Comunidad “Las Terrazas” con aprovechamiento del biogás y abono orgánico (Biofertilizante), XI Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica y VII Seminario Internacional de del Uso Integral del Agua, La Habana, 2013.

Anexos

TABLA 1: PODER CALORÍFICO DE MADERAS Y RESIDUOS AGRÍCOLAS

COMBUSTIBLE	PODER C. MEDIO kJ/kg
Bagazo húmedo	10500
Bagazo seco	19200
Cáscara de cacahuete	17800
Cascarilla de arroz	13800
Celulosa	16500
Corteza escurrida	5900
Cosetas de caña	4600
Madera seca	19000
Madera verde (*)	14400
Paja seca de trigo	12500
Paja seca de cebada	13400
Serrín húmedo	8400
Viruta seca	13400
	P. C. SUPERIOR kJ/kg
Cáscara de almendras	36800
Cáscara de nueces	32000
Cáscara de arroz	15300
Cáscara de pipa de girasol	17500
Cáscara de trigo	15800
Corteza de pino	20400
Corcho	20930
Orujillo de aceituna	17900
Orujo de uva	19126
Papel	17500
Jara (8% humedad)	18900 (P.C.I.)

PODER CALORÍFICO MEDIO DE ALGUNOS RESIDUOS PROCEDENTES DE CULTIVOS.

		Observaciones
RESIDUO	**P.C.M. 10^7 kcal/t**	10^7 kcal ≈ 1 tep (tonelada equivalente de petróleo)
Cañote de maíz	0´365	El cañote y el zuro (corazón de la mazorca después de desgranada) se recogen juntos.
Zuro del maíz	0´388	
Cañote y cabezuela del maíz	0´29	
Ramón del olivar	0´43	Se produce a razón de unas 0´25 t/ha, pero el 40% son hojas que pueden secarse. El resto, denominado vareta, es lo que se suele aprovechar.
Sarmiento de la vid	0´28	Se genera a razón de 0´7 t/ha El PCS puede llegar a 0´456 tep/t
Residuos del tomate industrial	0´51	
Cañote del girasol	0´335	

Coeficientes de la madera húmeda

MADERA	**COEF.**	**MADERA**	**COEF.**
Álamo negro	0´55	Haya	0´62
Castaño	0´48	Olivo	0´88
Chopo	0´30	Pino marítimo	0´58
Encina	0´68	Pino silvestre	0´49
Enebro	0´50	Roble	0´68