

**Análisis de factibilidad para sistemas de generación de combustibles
sólidos a partir de residuos madereros en Colombia**

**Alberto Cristancho González
Edgar Javier Fernández Rodríguez
Carlos Antonio Pérez Cuineme**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C.
2015**

**Análisis de factibilidad para sistemas de generación de combustibles
sólidos a partir de residuos madereros en Colombia**

**Alberto Cristancho González
Edgar Javier Fernández Rodríguez
Carlos Antonio Pérez Cuineme**

Anteproyecto de Investigación

**Dr. Ing. Carlos Andrés Forero Núñez
Doctor en Ingeniería**

**Universidad ECCI
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C.
2015**

TABLA DE CONTENIDO

1. Título de la investigación.....	4
2. Problema de investigación.....	4
3. Objetivos	
3.1 Objetivo General.....	4
3.2 Objetivos específicos.....	4
4. Diseño metodológico.....	5
5. Actividades y cronograma.....	6
6. Desarrollo del proyecto	
6.1 Fase 1.....	7
6.2 Fase 2.....	12
6.3 Fase 3.....	19
6.4 Fase 4.....	25
7. Conclusiones.....	27
8. Referencias y bibliografía.....	27

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN.

“Análisis de factibilidad para sistemas de generación de combustibles sólidos a partir de residuos madereros en Colombia”

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

En la actualidad la necesidad de generar cada vez más alternativas para la generación de energía a partir de recursos renovables que sean más limpios y sostenibles que los combustibles fósiles, se ha convertido en una actividad mundialmente promovida. Son muchos los países que han incentivado la generación de sistemas energéticos basados en el uso de fuentes renovables como la energía solar, eólica o biomasa. Dentro de esta última están en la actualidad diversos procesos y productos que se encuentran en desarrollo y aplicación, entre los cuales se encuentran la producción de biogás a partir de sistemas de digestión anaerobia, la generación de gas de síntesis a través del proceso de gasificación, obtención de combustibles líquidos como bioetanol o biodiesel resultantes de procesos de fermentación y transesterificación respectivamente y la densificación de combustibles sólidos a partir de residuos madereros.

Este último proceso ha tenido un auge interesante a nivel mundial debido a las diferentes ventajas ofrecidas por estos combustibles sólidos en comparación con otras fuentes de energía tradicional; sin embargo, la demanda a nivel mundial se encuentra en un crecimiento mucho mayor a la capacidad de producción instalada en los principales países que demandan este tipo de combustible. Por otro lado, Colombia al ser un país con amplios recursos agroindustriales y madereros puede tener condiciones adecuadas para la generación de pequeñas industrias capaces de participar en este mercado nacional e internacional. Uno de los principales problemas que se enfrenta actualmente es la falta de información disponible para analizar las diversas condiciones para el desarrollo de sistemas industriales capaces de fomentar estos combustibles sólidos en el país. Derivado de esto surge una pregunta que no ha sido ampliamente analizada en el ámbito nacional. ¿Cuáles son las condiciones actuales que afectan la factibilidad del desarrollo de sistemas de generación de combustibles sólidos empleando los residuos madereros en Colombia?

3. OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Identificar las condiciones actuales que afectan el posible desarrollo de sistemas de generación de combustibles sólidos empleando residuos madereros en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Establecer las condiciones actuales que presentan la industria maderera y la generación de residuos sólidos de esta industria en las diferentes regiones del país.
- Identificar las tecnologías aplicadas a nivel internacional para la producción de combustibles sólidos a partir de residuos madereros.
- Analizar la situación actual del mercado nacional e internacional de combustibles sólidos y las oportunidades existentes para la inclusión de nuevos procesos nacionales

4. DISEÑO METODOLÓGICO.

El trabajo se llevará a cabo en cuatro etapas que se encuentran interconectadas en serie (Figura 1).



Figura 1 Esquema general de la metodología a implementar en el desarrollo del proyecto

Durante la primera etapa del proyecto se llevará a cabo una recopilación de la información relacionada con la industria maderera a nivel internacional y nacional. Así mismo se identificarán las cantidades aproximadas de residuos que se generan a nivel internacional y nacional. Con base en esta información se llevará a cabo una primera estimación del potencial existente de aprovechamiento de estos residuos a nivel nacional y se discriminará por región en el país.

Una vez terminada esta etapa se tendrá una identificación de la escala de producción que se puede llevar a cabo para los procesos de producción de combustibles sólidos a nivel nacional. Esta información es de especial importancia para la segunda etapa del proyecto que consiste en la identificación de las principales tecnologías existentes para la producción de pellets y briquetas. En esta segunda etapa se realizará una caracterización de las principales variables operacionales a considerar en la producción de ambos tipos de combustibles sólidos, el costo de la maquinaria empleada y otros parámetros relevantes.

Concluida esta etapa se llevará a cabo la tercera fase del proyecto que consiste en la identificación del mercado internacional y nacional de combustibles sólidos. Teniendo en cuenta que actualmente hay una serie de productos similares se analizarán indicadores como precio, precio por kg, precio por unidad de energía generada, entre otros. Así mismo algunas características físico-químicas como humedad, densidad, poder calorífico, tiempo de combustión constante, etc.

Finalmente el proyecto incluye el análisis económico de un posible proceso de implementación de sistemas de generación de combustibles sólidos y la factibilidad del mismo en el ámbito nacional teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las fases previas. Para poder llevar a cabo esto se considerarán los posibles recursos económicos derivados del proyecto, ingresos por generación y venta de combustibles, impacto ambiental causado por el proyecto, costos iniciales incrementales, tasa de

inflación, tasa de escalamiento a los precios de electricidad y producto generado, entre otros

5. ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

A continuación se relacionan las diferentes actividades que se deben ejecutar en el transcurso del proyecto junto con el calendario propuesto

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Fase 1 Identificación del recurso maderero a nivel internacional, nacional y regional	12 días	Lun 7/07/15	Mar 1/08/15
Recopilación bibliográfica industria maderera a nivel internacional	2 días	Lun 7/07/15	Mar 28/07/15
Identificación niveles de residuos madereros a nivel internacional	2 días	Mie 9/07/15	Jue 30/07/15
Recopilación bibliográfica industria maderera a nivel nacional	2 días	Vie 31/07/15	Lun 03/08/15
Identificación de niveles de residuos madereros a nivel nacional	2 días	Mar 4/08/15	Mie 05/08/15
Caracterización y categorización industria maderera a nivel regional	2 días	Jue 6/08/15	Vie 07/08/15
Organización de la generación de residuos madereros a nivel regional en Colombia	2 días	Lun 10/08/15	Mar 11/08/15
Fase 2. Análisis características de las tecnologías existentes para la generación de combustibles sólidos	6 días	Mie 12/08/15	Mie 19/08/15
Identificación principales tecnologías para generación de pellets a nivel internacional	2 días	Mie 12/08/15	Jue 13/08/15
Identificación tecnologías para producción de briquetas a nivel internacional	2 días	Vie 14/08/15	Lun 17/08/15
Identificación tecnologías para producción comercializadas en Colombia	2 días	Mar 18/08/15	Mie 19/08/15
Fase 3. Evaluación mercado internacional y nacional de combustibles sólidos	19 días	Jue 20/08/15	Mar 15/09/15
Identificación mercado internacional para pellets y briquetas de madera	2 días	Jue 20/08/15	Vie 21/08/15
Análisis de costos de comercialización pellets y briquetas de madera a nivel internacional	2 días	Lun 24/08/15	Mar 25/08/15
Evaluación mercado nacional	2 días	Mie 26/08/15	Jue 27/08/15
Identificación productos relacionados con combustibles sólidos existentes en el mercado nacional	2 días	Vie 28/08/15	Lun 31/08/15
Cálculo indicadores económicos, \$/kg, \$/kJ)	3 días	Mar 01/09/15	Jue 03/09/15
Análisis características físico químicas de los pellets existentes	8 días	Vie 04/09/15	Mar 15/09/15
Caracterización densidad	2 días	Vie 04/09/15	Lun 07/09/15
Caracterización estabilidad combustión	2 días	Mar 08/09/15	Mie 09/09/15
Caracterización humedad	2 días	Jue 10/09/15	Vie 11/09/15
Caracterización contenido de cenizas	2 días	Lun 14/09/15	Mar 15/09/15
Fase 4. Estimación factibilidad de desarrollo sistemas de generación de combustibles sólidos a partir de residuos madereros en Colombia	5 días	Mie 16/09/15	Mar 22/09/15
Entrega informe final	0 días	Mar 22/09/15	Mar 22/09/15

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 FASE 1: IDENTIFICACIÓN DEL RECURSO MADERERO A NIVEL INTERNACIONAL, NACIONAL Y REGIONAL

RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA INDUSTRIA MADERERA A NIVEL INTERNACIONAL

La madera es uno de los recursos naturales renovables de origen vegetal más abundantes y más utilizados por el hombre, se puede obtener de forma fácil, es un material ortótropo, su principal contenido se extrae del tronco, los arboles durante su vida van formando anillos que corresponden al crecimiento de la biomasa durante cada estación y que están compuestos por fibras de celulosa, sustancia que conforma el esqueleto de los vegetales y permite el transporte de agua, sales, resinas y aceites unidas por la lignina, sustancia que proporciona la cohesión, rigidez y dureza del tronco del árbol.

Los principales elementos predominantes en la composición de la madera son hidrogeno, oxigeno, carbono y nitrógeno, con cantidades menores de potasio, sodio, calcio, silicio, entre otros. La madera es descompuesta por microorganismos tales como bacterias y hongos, o por la acción de insectos, por esa razón es necesario darle un tratamiento que evite su deterioro.

TIPOS DE MADERA:

Se pueden clasificar los tipos de maderas de acuerdo a su dureza en maderas blandas y maderas duras, pero también se puede obtener otra clasificación en resinosas, maderas finas, prefabricadas y de acuerdo a su grano en maderas de grano grueso y grano delgado.

- a) Maderas Blandas: Se obtienen de los árboles de rápido crecimiento, normalmente arboles de las coníferas, con hojas en forma de aguja, son fáciles de trabajar y de color claro, constituyen la materia prima para hacer el papel, dentro de esta clasificación están las maderas de álamo, pino, balso, sauce y acacia.
- b) Maderas Duras: Son aquellas que provienen de árboles de lento crecimiento y de hoja caduca, son maderas aceitosas y son más densas, entre sus principales usos esta la producción de muebles, en la construcción y herramientas, se pueden clasificar en este grupo, haya, castaño, nogal y roble.
- c) Maderas Resinosas: Son especialmente resistentes a la humedad, tales como cedro y ciprés.
- d) Maderas Finas: Son utilizadas como aplicaciones artísticas, en esculturas y arquitectura, para fabricar muebles finos, instrumentos musicales y objetos de adorno, dentro de este grupo están el ébano, abeto y arce.
- e) Maderas Prefabricadas: Se elaboran con restos de otras maderas, como virutas del corte, dentro de este grupo se clasifican los aglomerados, contrachapados, tableros de fibra y triplex

También se puede clasificar de acuerdo al grano:

- a) Maderas de Grano Grueso: Dentro de las especies de madera de grano grueso están el roble, castaño, iroko, merbau, doussie.
- b) Maderas de Grano Fino: Haya, sapelli, cerezo, arce.
- c) Maderas Aceitosas: Teca, olivo.
- d) Maderas Resinosas: Ipe, Padouk.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA MADERA:

La madera es un material aislante térmico y eléctrico, buen conductor de sonido, es un recurso renovable, biodegradable y reciclable. Es un material maleable, dúctil, y tenaz, y de acuerdo a su clasificación tiene cierto color, textura, densidad y resistencia, flexibilidad y hendidura, dureza, elasticidad, entre otros, además de ser un eficiente combustible

ESTRUCTURA DE LA MADERA: (Ver Imagen 1)

Corteza externa: Es la parte exterior del tronco, está formado por células muertas del árbol, y lo protege de los agentes atmosféricos.

Cambium: Es una capa intermedia y da origen a otras dos capas, la Xilema, que es la capa que hace formar la madera, y la Floema, que es la capa que forma la corteza.

Albura: Es la capa que forma la madera de la más reciente formación y es la que permite el transporte de líquidos tales como la sabia.

Duramen: Es la capa más interna del tronco y es la más dura y consistente, es más oscura que la albura y por ella no corre la sabia.

Medula vegetal: Es la parte más central del tronco, que posee baja resistencia, por esa razón casi no es utilizada.

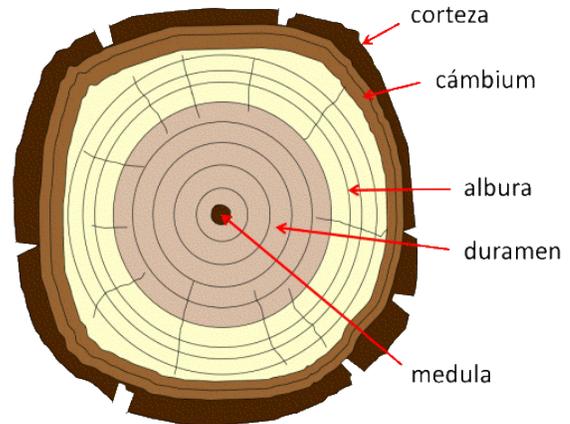


Imagen 1. Estructura de la madera.

Fuente: <https://sarayjulia.wordpress.com/que-es/>

OBTENCIÓN Y PRODUCCIÓN DE LA MADERA:

Lo primero que hace es preparar el lugar para talar y derribar el árbol. Después de derribar el árbol se cortan sus ramas y se transporta al aserradero. Una vez está listo para transformar el tronco en madera, se realiza el proceso de descortezado, se retira la capa exterior o corteza que tiene el árbol, los troncos se cortan en tablas o tablones, este proceso es conocido como tronzado seguidamente se realiza el proceso de secado, que permite reducir los niveles de humedad de la madera para evitar daños. Posteriormente se hace el proceso de cepillado que permite reducir las irregularidades de forma de la madera. Después de que la madera se corta y se seca se utiliza para diferentes fines, entre los usos más comunes están la fabricación de pasta para hacer papel, leña que es la forma más simple de biomasa, para la fabricación de todo tipo de utensilios, en la ingeniería y construcción, también tiene usos farmacéuticos, medios de transporte, etc.

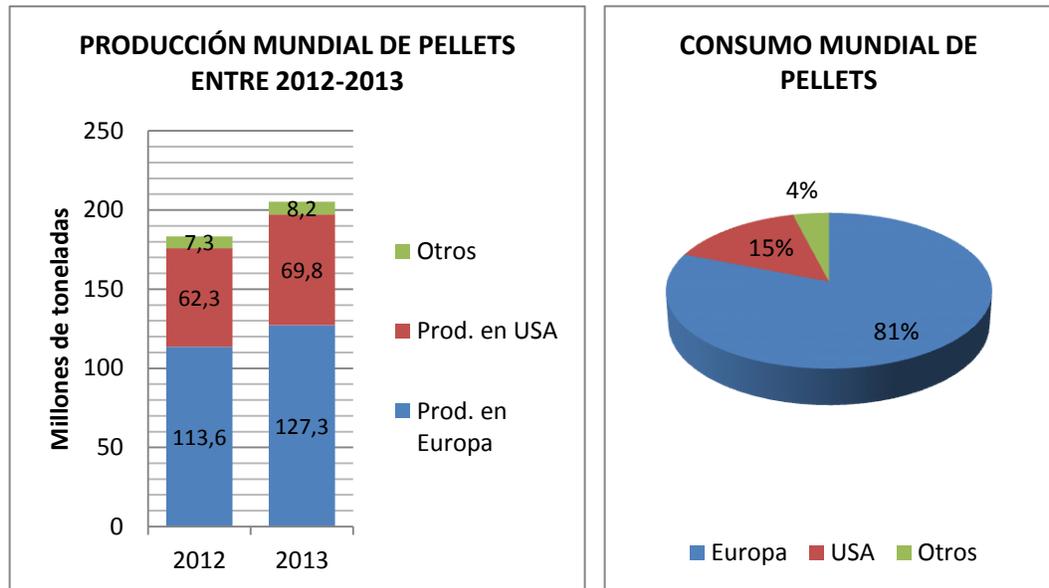
PRODUCCIÓN FORESTAL A NIVEL MUNDIAL:

La gama de productos de la industria maderera es muy amplia, inicialmente se tomaran los datos más representativos, donde se tendrán en cuenta como principales productos:

- a) **Madera en rollo industrial:** Es toda madera utilizada para cualquier propósito menos para energía.
- b) **Madera aserrada:** Incluye tablones, vigas, tablas, listones, que excedan los 5 milímetros.
- c) **Tableros de Madera**
- d) **Pasta y papel**
- e) **Pellets.**

La producción en los últimos cinco años ha tenido un aumento representativo, sobre todo en la región de Latinoamérica y el Caribe. Actualmente uno de los países más importantes en la producción y consumo de madera es China, por encima de potencias tales como Canadá y Estados Unidos. China es el principal productor y consumidor de tableros de madera y papel, y a su vez es el principal importador de madera en rollo, madera aserrada, fibras y papel.

La producción de Pellets ha aumentado significativamente debido a los objetivos de las políticas de utilización de bioenergía en Europa, lo cual aumenta su demanda, en 2013 aumento en un 12% comparado con el año anterior, equivalente a 22 millones de toneladas, de los cuales Europa y Estados Unidos son por amplio margen los mayores productores con 62% y 34% respectivamente. Así mismo estas dos potencias también son las mayores consumidoras de pellets, con 81% y 15%. [Ver Gráficos abajo]



Cantidad en millones de metros cúbicos

A nivel general la producción y consumo de tableros de madera y madera aserrada, aumenta pero con porcentajes no mayores a dos dígitos, entre el 5% y 8% anualmente. Mientras que el mercado de las fibras y el papel aumenta levemente con 1%.

La producción de madera en rollo se desglosa en porcentajes de la siguiente manera: Europa (incluyendo la federación rusa) 550 millones de metros cúbicos (32%), Asia y el Pacífico, 442 millones de metros cúbicos (25%) América del Norte (Estados Unidos y Canadá) 440 millones, (25%) América Latina 250 millones de metros cúbicos (14%) África 70 millones de metros cúbicos (4%). Siendo los principales países productores, Estados Unidos, Federación Rusa, China, Brasil, Canadá.

La producción de madera aserrada ha aumentado notablemente en los últimos cinco años, donde las principales regiones productoras son: Europa (34%), Asia y el Pacífico (29%) América del Norte (26%), América Latina y el Caribe (8%) y África (2%) para un total de producción de 421 millones de metros cúbicos. La principal región importadora de madera aserrada están en Asia y el Pacífico, mientras que los principales exportadores son América del Norte y Europa. A nivel de países, los principales productores son Estados Unidos, China, Canadá, Federación Rusa, Alemania, pero también se destacan Suecia y Finlandia.

En la producción de tableros de Madera ha crecido aproximadamente en 35% en los últimos cinco años, principalmente desarrollado por la producción en Asia y el pacífico y en América Latina y Caribe donde se han presentado crecimientos del 59% y 23% respectivamente. Pero la región de Asia representa 60% de la producción mundial, Europa

(21%), América latina (5%) África (1%). Los cuatro principales productores de tableros en fibra, también son los cuatro principales consumidores (China, Malasia, Canadá, Tailandia).

En cuanto a la producción de fibras y papel, los datos mundiales son los siguientes, el crecimiento que se presenta en esta industria no es mayor al 1% en comparación con los años anteriores, y es una tendencia que no crezca considerablemente esta industria, donde su participación: Asia y el Pacífico (32%) América del Norte (29%) Europa (26%) América Latina (8%) África (1%) para un total de 397 millones de toneladas métricas. Latinoamérica es uno de los principales exportadores netos de fibras y papel con 13 millones de toneladas al año. Pero los principales exportadores son Estados Unidos, China, Japón, Canadá, Chile Y Brasil.

BOSQUES PLANTADOS EN LATINOAMÉRICA:

A nivel Latinoamérica, Colombia ocupa un quinto lugar en número de hectáreas de bosques plantados con un total de 475.575 hectáreas, el país con mayor plantación en la región es Brasil con 7'600.000 hectáreas, seguido por Chile con 3'000.000 de hectáreas, Argentina con 1'120.000 hectáreas, y Uruguay con 990.000.

BOSQUES NATURALES EN COLOMBIA:

Se calculó que Colombia tiene aproximadamente 114'200.000 hectáreas, de las cuales 59'140.000 corresponden a bosques naturales, que equivale a un porcentaje del 52% de la superficie total.

Del total de las hectáreas de bosques naturales, son dueños de estos, en un 46% las comunidades indígenas, el 31% el estado, el 16% son de manejo de los parques naturales, el 7% de comunidades afrocolombianos, y solo un 0,5% de campesinos.

INDUSTRIA MADERERA EN COLOMBIA:

La industria maderera en Colombia representa el 4% del total de la industria, el sector de la silvicultura y la extracción de madera representan el 0,4% del PIB nacional.

El consumo per-cápita en Colombia es de 13.38 metros cúbicos/1000 habitantes, mientras que en Chile es de 315.88 y en Ecuador 54,72 m³/1000 habitantes.

En los últimos 7 años la balanza comercial entre las exportaciones y las importaciones en el sector representa un saldo negativo aproximadamente de \$10.500.00 dólares, ya que la tendencia es a importar más de lo que se exporta.

Se han identificado las grandes empresas de la industria de la maderera en Colombia, y las más representativas e importantes son: Pizano y sus filiales, Maderas del Darién, Mantesa y Monterrey Forestal. También Madecentro Colombia, Tablemac, Arauco Colombia, Districondor, Reforestadora Andina, Masisa Colombia, IMA, Reforestadora del Caribe, Mademeco, Triplex Acemar, Comercial Silvatriplex, Inducolma, Madeco, Maderas del Oriente, entre otras.

Según MIN AMBIENTE 1996 el aprovechamiento forestal se presenta para algunas regiones de Colombia:

- **Región caribe:** Una explotación de bosque para la producción de leña y carbón de uso industrial o doméstico. Se caracteriza porque la industria forestal en esta zona es bastante amplia donde los desperdicios de esta producción se generan en las deficientes condiciones de calidad como calidad de cortes, maduración biológica de algunos de los productos primarios.
- **Amazonia:** Esta zona se caracteriza por la fuerte tendencia maderera, siendo esta la actividad de subsistencia de los colonizadores, donde la explotación forestal se centra sobre las maderas ordinarias. A pesar que esta zona es bastante rica en la madera como materia prima para la industria maderera, allí hace falta el valor agregado por falta

de procesos de transformación, lo que indica que de invertir más en esta zona en esta industria posiblemente la economía mejoraría un poco.

- **Región Andina:** En esta zona existe un alto desperdicio y subutilización del bosque y procesamiento de maderas, la explotación se realiza en bosques pero allí hace falta una normalización acerca de los productos forestales.

Colombia tiene una extensión de 114 millones de hectáreas de las cuales 55 millones corresponden a bosques naturales y plantados, sin embargo si se consideran las zonas de reserva ecológica se reduce el espacio de aprovechamiento para la industria maderera.

Es difícil hablar de la industria del mueble, pues existen miles de pequeños talleres de carácter semi-industrial o artesanal. La ciudad donde se producen más muebles en Colombia es Bogotá, seguida por Medellín, Cali y por último la costa atlántica.

La tendencia ecológica es a mantener en pie el mayor número de árboles para tratar de conservar un planeta más ecológico. Los árboles que son talados tienen un valor económico enorme, ya tienen destinada su aplicación. En Colombia existe una gran ventaja en cuanto a la reforestación ya que posee grandes áreas destinadas a la siembra de árboles, áreas que pueden ser parques ecológicos o simplemente bosques con destino industrial. El otro punto importante a ver de cerca es la variedad de clima, de suelos, lo que permite que se mantengan en pie diferentes especies.

Actualmente a los residuos madereros se les dan diferentes usos como por ejemplo el uso para la producción de etanol. La industria maderera elevó su queja debido a los recursos que están destinando para la reforestación, esto le resta seriedad política al gobierno pone en riesgo el medio ambiente.

En Colombia especialmente en ciudades como Bogotá la demanda de muebles de madera es muy alta alcanzando casi un 26% de todo el país, lo que prevé una alta fuente de generación de desechos madereros que actualmente están siendo aprovechados.

Al reaprovechar estos desperdicios se tendrán un estimado de 8.747.646 Kg de biomasa como pino, flor morado. Este aprovechamiento contribuye al desarrollo sostenible del medio ambiente ya que promueve la sustitución de los combustibles fósiles que generan altos niveles de CO².

IDENTIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE RESIDUOS MADEREROS A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL

De los principales beneficios que pueden brindar los residuos madereros es que se pueden incorporar nuevamente al proceso de producción o cubrir necesidades energéticas. A través del tiempo muchos aserraderos han considerado sus residuos como un subproducto que no sirve mucho y se ha utilizado para relleno de terrenos y en algunos aserraderos son incinerados en quemadores tipo Wigwam, sin embargo este último proceso no es nada beneficioso para la conservación del medio ambiente, así mismo el aumento en los costos energéticos, han hecho que para la industria maderera sean considerados como reutilizables, también se usan en la fabricación de tableros, dado al aumento del precio de la madera sólida.

Actualmente en los países desarrollados la mayoría de instalaciones que incorporan procesos de elaboración de madera, tienen quemadores de aserrín que sustituyen al combustible fósil para ser utilizados como energía térmica o eléctrica. Pero en los países en desarrollo se emplea muy poco el potencial energético de los residuos sólidos madereros, ya que se considera que la instalación de equipos para su tratamiento es bastante costosa, por lo tanto para muchos aserraderos desde la óptica costo-beneficio es poco atractiva.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS MADEREROS

Los residuos derivados de la industria forestal se pueden clasificar en dos clases:

- a) **Los residuos forestales** que provienen de la tala, recolección y extracción de la madera en el monte, entre estos, ramas, agujas, raíces, madera de mala calidad o podrida, aserrín, recortes, tocones, hojas.
- b) **Los residuos en el aserradero** que son producto de los procesos de fabricación de la madera, tableros, contrachapados, tales como la corteza, aserrín, recortes, madera partida, lijaduras, virutas, hojas, recortes de paneles

En términos generales se considera que el 33% del árbol cortado queda abandonado en el bosque (copas, ramas, follaje, tocón) y finalmente solo un 28% del total del árbol se convierte en madera, es decir que el otro 39% resulta en residuos productos de la fabricación y transporte (virutas, recortes, aserrín, corteza, pérdidas varias).

En cuanto a los residuos forestales casi un 60% del árbol talado se queda en el bosque y las especies que son de poco interés comercial se dejan en el bosque para quemarlas, o simplemente se dejan podrir para facilitar el acceso para extraer posteriormente otros árboles. En el proceso de escuadrar y talar en el bosque se produce o se transforma entre 10% y 30% de aserrín.

En el caso de los residuos producidos en el aserradero, es variable dependiendo de las instalaciones y tecnología del aserradero y del tipo de madera y su proceso de fabricación. Por ejemplo en la fabricación de contrachapas el producto final corresponde solo al 45% a 55% de la materia utilizada inicialmente. En el proceso de fabricación de tableros de partículas se aprovecha entre 80% y 90% del total de la materia. En términos generales integrando todas las operaciones de fabricación se transforma a un producto final en promedio el 68% del total de la madera que llega al aserradero. La corteza o aserrío basto constituye el 10% al 20% del total de la troza, dependiendo de la especie y es utilizado como combustible.

Los residuos secundarios tales como costeros, desperdicios, recortes, astillas, chapas mal fabricadas, recortes de aserrío y de tableros, también se usan como combustible, o se reutiliza para la fabricación de tableros y pastas, las almas, que no tienen mayor uso. Las cuales normalmente se convierte en aserrín. Las virutas de cepillado que son producto del dimensionamiento y alisamiento de la madera, son también utilizadas para la producción de tableros de partículas y combustible. Partes de la corteza se utilizan para transformar lignocelulosa, en bio-fertilizantes, suplementos alimenticios. Sustancias bioactivas y productos tales como cera, aceites y harinas vitamínicas.

Además del aprovechamiento de los residuos madereros como recurso energético para la misma fábrica, la tendencia a la fabricación de pellets y briquetas para otros usuarios se está constituyendo en un negocio atractivo para algunos aserraderos de países desarrollados

6.2 FASE 2: ANÁLISIS CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA GENERACIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS.

IDENTIFICACIÓN PRINCIPALES TECNOLOGÍAS PARA GENERACIÓN DE PELLETS A NIVEL INTERNACIONAL **TIPOS DE PROCESOS**

Una pregunta muy común de la gente es porque fabricar pellets en vez de usar directamente los troncos de los árboles. Uno de los motivos es que los troncos generalmente crecen muy lento. Los pellets pueden ser fabricados de cualquier tipo de

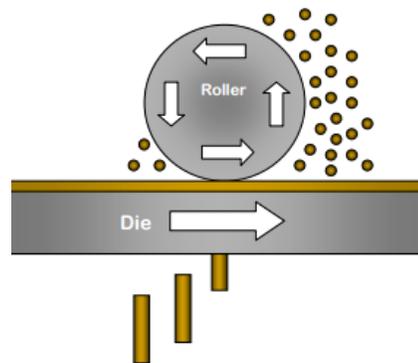
biomasa incluyendo paja, hierba, caña, etc. Refiriéndonos exclusivamente a la caña, esta puede lograr un crecimiento absoluto en un periodo de tan solo 3 meses y brindando una combustión muy similar a la de la madera común.

Otra razón por la cual los pellets tienen mayor ventaja frente a los troncos, es que estos se queman de forma más eficiente, esto significa que los pellets producen menos cenizas, menos humo y más calor; adicionalmente los pellets tienen un tamaño, una forma, densidad y humedad en cantidad uniforme, lo cual es mucho mejor para las estufas y calderas modernas.

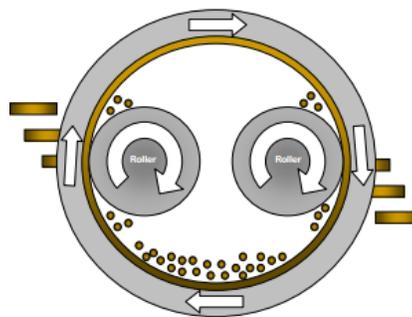
DISEÑOS Y MÉTODOS

Existen 2 métodos o diseños en la maquinaria sobre cómo se pueden producir los pellets.

- a) **De dado plano:** Una placa solida de metal se sitúa bajo una serie de rodillos que comprimen la biomasa contra el dado, por donde luego saldrá con la forma de pellet final. Este diseño es principalmente utilizado en China para la producción en pequeña escala de comida para animales, sin embargo este diseño es perfectamente compatible para la producción de pellets madereros.



- b) **De dado de anillo:** A diferencia del diseño de dado plano, el diseño de anillo está ubicado de forma vertical y no horizontal. La materia prima entra por el centro del dado y un juego de generalmente 2 (a veces 3 o 4) rodillos internos comprimirán la biomasa, para continuar el proceso.



Dependiendo del tipo de biomasa, ocasionalmente un diseño puede ser más efectivo que el otro, hay tablas y guías sobre el tipo de diseño más conveniente para cada tipo de materia prima.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PELLETIZACION

El proceso de fabricación de los pellets involucra que un tipo de biomasa sea expuesta a alta presión y forzada a salir por un molde, cuando esta es trabajada en las condiciones

apropiadas, la biomasa forma una masa sólida, este proceso es conocido como Extrusión. Algunos tipos de biomasa (generalmente la madera) vienen en su forma natural para ser pellets de alta calidad y compactos, mientras que otros tipos de biomasa necesitan algunos aditivos y adhesivos que ayuden a que el pellet se mantenga compacto. Sin embargo, esto es tan solo un paso respecto a todo el proceso de manufactura, adicionalmente se incluye:

- a) Materia Prima: La producción de los pellets comienza con la generación de la materia prima, en la mayoría de los casos esta materia prima vendrá como un derivado de otros procesos madereros, tal como aserrín, retazos madereros y sobrantes de otras operaciones. Sin embargo el interés en la fabricación y el mercado de los pellets ha creado tecnologías, máquinas y procesos, al punto en que hay molinos capaces de generar materia prima directamente desde los árboles (troncos).
- b) La molienda de la materia prima: Los molinos para la fabricación de pellets de tamaño estándar requieren que las partículas de biomasa no sean de un tamaño superior a 3 milímetros. Diferentes tipos de maquinaria son capaces de llevar a cabo esta tarea de molienda. Si la presentación de la biomasa es demasiado grande o densa, como la madera, esta deberá ser dividida en segmentos más pequeños antes de poder procesada para extrusión. La biomasa en presentación más pequeña y suave, como la paja, puede ser ingresada directamente sin la necesidad de segmentarla.
- c) Control de humedad: Mantener un nivel de humedad en la materia prima es vital para la calidad del producto final. Para la madera, el nivel de humedad requerido es alrededor del 15%. Otros tipos de biomasa tienen requisitos distintos en cuanto al nivel de humedad que pueden variar de acuerdo a la función. La humedad generalmente es removida a través de un horno de secado o soplando aire caliente a través de las partículas. Si por el contrario la materia es muy seca, se puede añadir humedad inyectando vapor o agua a la materia.
- d) Segmentado: El pellet, como producto, es creado puntualmente en este paso, un rodillo es usado para comprimir la biomasa a través de un molde metálico llamado Dado, el dado incluye pequeños agujeros por donde la biomasa es exprimida en condiciones de alta temperatura y presión. Si las condiciones son apropiadas, las partículas de biomasa se fusionaran en una masa sólida que se convertirá en pellet. Una cuchilla es usada para cortar los pellets en las medidas apropiadas. Algunos tipos de biomasa tienden a fusionarse mejor que otras, el aserrín es apropiado para la creación de pellets debido a la lignina, presente naturalmente en la madera, y que actúa como un pegamento que ayuda a mantener el pellet compacto. Las hierbas no tienden a adherirse igual que los productos madereros, ocasionando que los pellets sean menos densos y más frágiles. Para mejorar este proceso se ha estado investigando la aplicación de algunos granos y frutos secos como adhesivo.
- e) Enfriamiento: Justo cuando los pellets dejan el molde, estos se encuentran a una alta temperatura (150°C aproximadamente) y es bastante suave, por lo tanto, estos deben ser enfriados y secados antes de que estén listos para su uso. Esto es logrado soplando aire a los pellets. La humedad final de los pellets no debe exceder el 8%.
- f) Empaquetado: Una vez que los pellets han sido formados y enfriados, estos deben ser empacados en bolsas o simplemente apilados. Los pellets pueden mantenerse almacenados por un tiempo indefinido con la única condición de mantenerlos en un lugar fresco y seco, alejados de la humedad para prevenir el deterioro.

REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS PARA LA FABRICACIÓN DE PELLETS

El proceso de fabricación de pellets requiere un cierto consumo de energía, en parte para el secado en las distintas etapas de elaboración y por otra parte para la puesta en marcha de la maquinaria.

Las fábricas más grandes suelen consumir una porción de su propia materia prima para la generación de calor y secado de la biomasa destinada para pellets. Una pelletizadora

estándar requiere entre 50 - 100 kilowatts de energía eléctrica para lograr una producción de 1 tonelada por hora, adicionalmente la electricidad también es usada para los demás componentes del proceso como el segmentado, enfriamiento y empaquetado. Si una fuente de energía eléctrica no está disponible, la mayoría de máquinas viene con un motor alternativo que funciona a base de gasolina o diésel.

MERCADO INTERNACIONAL

A nivel de Latinoamérica, encontramos las oficinas de Zheng Chang en México, esta es una compañía fundada en Japón en 1918 dedicada inicialmente a la maquinaria agrícola, sobre el año de 1974 en China se desarrollaron los primeros modelos de maquinaria para fabricación de pellets.

En el sitio web de esta compañía [<http://www.zhengchang.com.mx>], se encuentra el catálogo con los distintos modelos sobre producción de pellets.

Entre las principales características de sus productos ofrecen más de 10 años de vida útil, entre un aumento del 10%-20% relacionado a la eficiencia de producción, producción de pellets desde 2mm-2,5mm de diámetro, y una producción dependiendo de la maquinaria que varía entre 0,6-0,8 t/h hasta 12-42 t/h.

Sus pelletizadoras vienen también de acuerdo a su sistema de funcionamiento, entre ellos, por sistemas de rodamientos y por válvulas de vapor automatizados, que ofrecen más control y calidad, entro otros diseños.



Prensa Peletizadora Modelo SZLH858.

Fuente: <http://www.zhengchang.com.mx/products/296.html>



Peletizadora con molde de plano de pastos.

Fuente: <http://www.zhengchang.com.mx/products/305.html>

IDENTIFICACIÓN TECNOLOGÍAS PARA PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS A NIVEL INTERNACIONAL

PRODUCCIÓN DE BRIQUETAS

Aplicaciones; Las briquetas tienen una gran variedad de usos, desde el uso doméstico hasta el uso industrial, dentro de las más comunes encontramos:

- Uso doméstico en cocina y calentamiento de agua.
- Procesos de producción del tabaco, secado de frutas y té, crianza de aves, etc.
- Trabajos de cerámica y arcilla para creación de estufas o ladrillos.
- Combustible para gasificadores y producción de energía eléctrica.
- Uso de calderas para la generación de vapor.

Beneficios: Las briquetas pueden potencialmente ofrecer los siguientes beneficios en comparación de los leños o del carbón.

- Estandarización y uniformidad en todo el producto.
- Pueden ser fabricadas para una función específica como quemando de largo tiempo o quema tradicional de estufas.
- Costos más bajos debido a que se fabriquen con residuos biomásicos.

Una briqueta está hecha de otra materia (biomasa) que es compactada en un molde. Estas pueden ser de diferentes formas y tamaños dependiendo el molde. La apariencia y las características de quemado de la briqueta dependerán del tipo de materia prima, el nivel de compactación y el molde.

El tamaño y la forma deberán ser designados por la función de destino, por ejemplo para el uso doméstico es preferible un diseño de gran superficie comparado con la altura.

MATERIA PRIMA

Una de las materias primas más comunes y utilizadas es el polvo de carbón (aquellas partículas del carbón que son tan finas y diminutas que no son vendidas), sin embargo tenemos muchos más materiales disponibles como aserrín, cascaras de café, corteza de maíz, cebada, trigo, granos y paja.

Para producir briquetas de calidad y al igual que los pellets se deben tener en cuenta una gran variedad de factores, como la humedad, niveles de humo, valor calorífico de la materia prima y el contenido de ceniza.

Cantidad de ceniza presente en distintos materiales usados para la producción de briquetas.
Fuente: <http://www.gvepinternational.org/>

Materia prima	Cantidad de ceniza
Coraza de maíz	Bajo - 1,2%
Aserrín	Bajo - 1,3%
Cascara de nuez	Medio - 6%
Cascara de arroz	Alto - 22,4%

En la mayoría de los casos, si no se cuenta con una máquina de alta compresión, se suele usar un adhesivo, la arcilla es una de las más comunes y adicionalmente pueden bajar el tiempo de combustión lo cual brindara un poco menos de calor pero por un prolongado lapso de tiempo.

OPCIONES DE PROCESADO

- Proceso de carbonizado:** Este proceso consiste en la fabricación de briquetas sin el proceso anterior de Carbonizado. Consiste en la simple preparación y compactación de la materia prima. Es un proceso más simple y económico, siendo favorable para las micro y pequeñas empresas dedicadas a este sector. Las desventajas con este proceso es la alta producción de humo al quemarse la briqueta y que para su producción a nivel industrial se requieren maquinas sofisticadas para alcanzar el nivel de compresión requerido.
- Prensas:** Las briquetas pueden ser producidas incluso a mano, siendo un proceso realmente simple, usando la materia prima junto con un poco de agua y pegamento, se les da forma, generalmente esférica y luego se dejan secar.

Obviamente usando la maquinaria apropiada tendremos 2 ventajas importantes, con esto añadimos un valor al producto final e incrementamos la cantidad de productos que se pueden producir.

En el mercado encontramos prensas de simple presión manual, hasta prensas completamente computarizadas y motorizadas para trabajos más complejos.

Como ejemplo adjuntamos la imagen de una máquina para producción en pequeña escala. Tiene una capacidad de producción de hasta 100kg/hr.



PASOS EN LA FABRICACIÓN

- 1. Preselección de la materia prima:** Todo el material no deseado de la biomasa debe ser removido para asegurar que haga el ingreso a la maquinaria con el tamaño requerido. En el caso particular del aserrín o residuos madereros, este filtrado se suele hacer usando una malla metálica que retendrá las partículas más grandes e inapropiadas para el proceso. Después de esto se procede a desmenuzar el material grande en partículas más pequeñas y pasar al mezclado.
- 2. Mezcla:** Este proceso es realizado en situaciones donde se desea usar distintos tipos de materias primas para optimizar las características de quemado del producto final.
- 3. Pegado:** Es un subproceso bastante importante, pues esto es lo que hará que la briqueta se mantenga unida y la combustión sea uniforme. Como se mencionó anteriormente, un adhesivo bastante común es la arcilla.
- 4. Adicionando Agua:** La adición de agua se realiza a la materia prima con la idea de separarla y que así sea más fácil de trabajar. A algunos tipos de materias primas se les debe dejar en remojo por varios días con la intención de que ablande lo suficiente para poder trabajar con ella.
- 5. Compactación y Secado:** Finalmente la materia prima esta mezclada y lista para el proceso de compactado, que puede ser a manual o mecánica. Las briquetas dependiendo de su función final necesitaran incluso hasta una semana de secado en condiciones específicas.

IDENTIFICACIÓN TECNOLOGÍAS PARA PRODUCCIÓN COMERCIALIZADAS EN COLOMBIA

Es importante mencionar de la misma forma al hacer un análisis de las tecnologías disponibles, el sector de la investigación dedicado a la generación de residuos y al manejo de los mismos en el país de Colombia

Municipios de Colombia que aprovechan Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos con sus respectivas cantidades.

FUENTE: Información remitida por los prestadores del servicio para el informe del Diagnóstico Sectorial Plantas de Aprovechamiento de Residuos Sólidos. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Bogotá, Marzo de 2008; p.8.

Municipio	Residuos Recibidos en planta (Ton/mes)	Orgánicos Aprovechados (Ton/mes)
Providencia	2,90	2,3
Quetame	9,60	4,8
Yacuanquer	9,80	9,2
Fosca	22,00	12,0
Suratá	24,00	12,0
El Colegio	38,00	22,8
Nocaima	40,00	25,0
Valle de San Juan	40,00	24,0
Versalles	52,00	31,2
Castilla La Nueva	52,00	32,2
Santa María	60,00	33,0
Santa María	80,00	38,4
Fómeque	100,00	50,0
El Playón	104,00	56,2
Choconta	135,00	94,5
Pupiales	148,00	84,1
La Victoria	250,00	150,0
El Santuario	270	20,0
Carmen de Viboral	294	102,9
Cajamarca	320,00	232,0
Garagoa	350,89	245,6
Caicedonia	383,00	222,0
La Plata	624,50	429,0
Ubaté	700,00	595,0
Garzón	970,00	776,0
Acacias	1155	866,3
Pitalito	1664,00	49,9
Ibagué	8810,00	1182,3
Heliconia	13222,00	584,4

Respecto a la información que en Colombia se maneja, estas estadísticas no son muy claras cuando se refiere a los residuos madereros, mas sin embargo hay información relacionada al respecto del manejo de residuos sólidos orgánicos, aunque estos incluyen datos sobre los residuos madereros, esta información está más dirigida hacia aquellos tipos de residuos que son más viables hacia la creación de fertilizantes y abonos.

En Colombia el mercado de las tecnologías para la producción lo maneja principalmente MaquinPRO de Colombia S.A.S., con sede en la calle 31 # 2, en la ciudad de Cali, en el Valle del Cauca, sin embargo es importante mencionar el hecho que esta es una compañía dedicada a la venta de maquinaria para la producción, mas no a la misma producción o

venta de pellets; esta cuenta con modelos de maquinaria clasificados en 2 tipos, estos son las peletizadoras de dado giratorio (Tipo D) y las peletizadoras de rodillos giratorios (Tipo R).

En la ciudad de Bogotá, se encuentra Grethsell, cuyo objeto social la define como una empresa dedicada a láminas, envases, pellets, entre otros, en material biodegradable 100% de bajo compostaje.



A la izquierda de color azul, peletizadora tipo dado; a la derecha de color verde, peletizadora tipo rodillo. Ambos diseños comercializados por MaquinPro de Colombia S.A.S.
Fuente: <http://www.maquinpro.com/peletizadoras.html>

Adicionalmente encontramos a compañías como SGS cuyo enfoque va dirigido más hacia la verificación y pruebas de viruta, pellets de madera y biomasa sólida; al igual que MaquinPro de Colombia, SGS no se dedica ni a la fabricación ni a la venta de pellets, solo a la realización de pruebas.

6.3 FASE 3: EVALUACIÓN MERCADO INTERNACIONAL Y NACIONAL DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS

IDENTIFICACIÓN MERCADO INTERNACIONAL PARA PELLETS Y BRIQUETAS DE MADERA

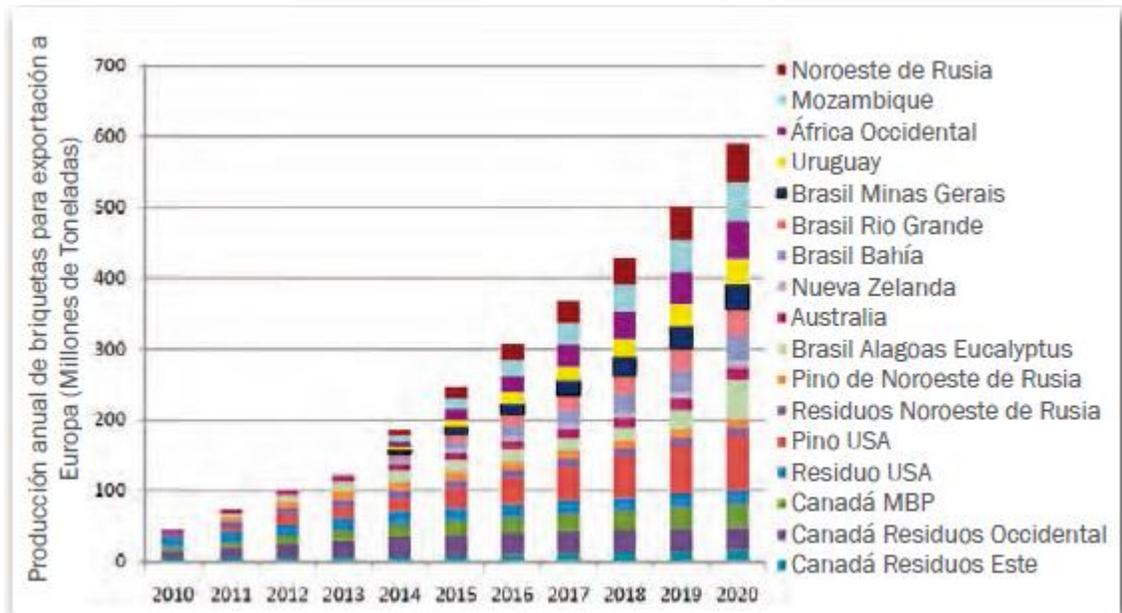
El mercado mundial de pellets y briquetas ha crecido al pasar de una producción de 7 millones de toneladas a finales de 2006, a más de 14 millones en 2010 y 18 millones en 2014, siendo el continente europeo actualmente el mayor consumidor.

Europa registra un alto consumo de pellets, al pasar de 3,8 millones de toneladas para finales del año 2005, a 9,8 millones en 2010, con una proyección de consumo de 24 millones de toneladas para el año 2020.

Otro de los países que en el continente sudamericano se perfila como protagonista en este mercado es Brasil, debido a que cuenta con 200 millones de hectáreas degradadas, disponibles para el cultivo de plantaciones dendro-energéticas, que podrían asegurar una futura demanda de madera de alto valor, y atender el mercado de las briquetas y pellets en la región.

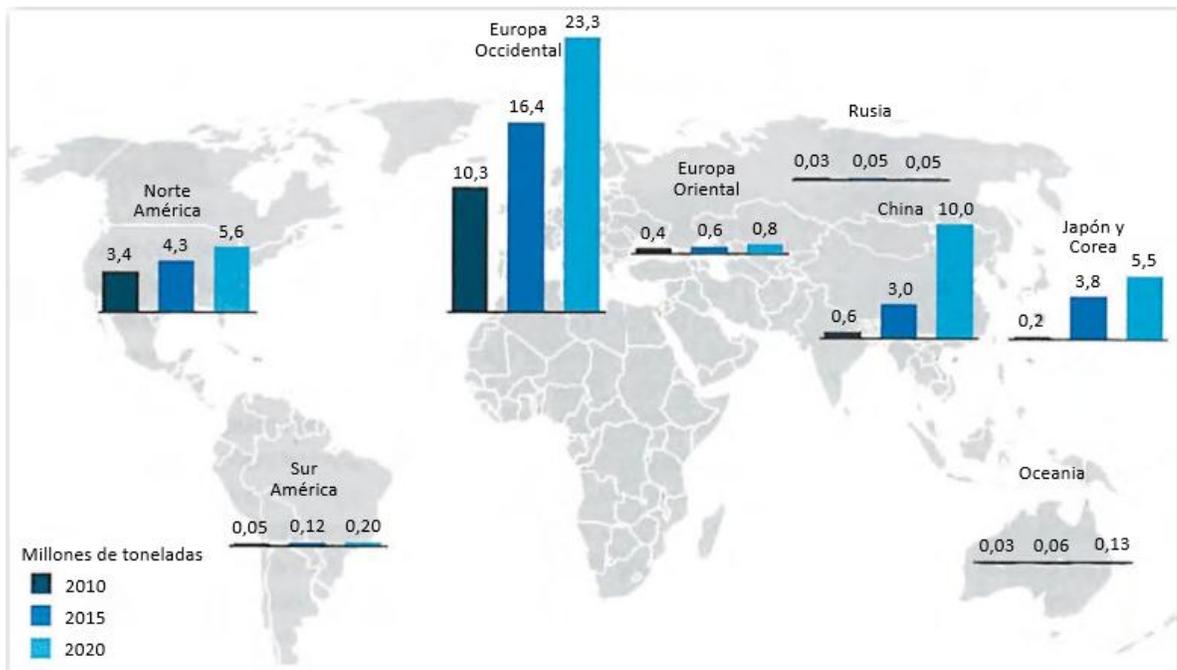
Otro de los mercados que pueden generar a futuro altos dividendos en materia de producción de esta clase de combustible en América, es Chile, gracias a que el país produce aproximadamente 40 millones de metros cúbicos de madera industrial, y 16

millones de metros cúbicos adicionales de leña con un alto potencial de residuos de madera utilizables.



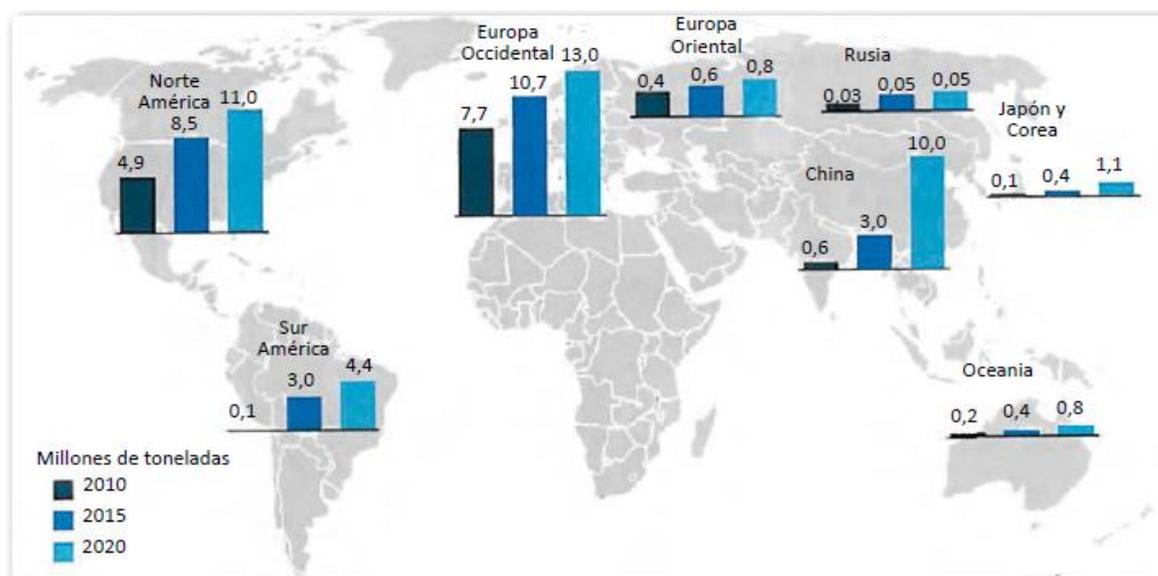
Crecimiento esperado de biomasa disponible suministrada por diferentes regiones para los años 2010 y 2020

Fuente: Estudio Global Wood Pellet industry Market and Trade. IEA Bioenergy, Diciembre de 2011



Proyección del consumo mundial de pellets

Fuente: Estudio Global Wood Pellet industry Market and Trade. IEA Bioenergy, Diciembre de 2011.



Proyección de la producción mundial

Fuente: Estudio Global Wood Pellet industry Market and Trade. IEA Bioenergy, Diciembre de 2011.

Descripción general de los mercados de pellets en todo el mundo [Tomado del Industrial Wood Pellets Report 2012 dendro-energéticas]

Pais	Productoras de briquetas	Producción	Consumo	Exportación (Importación)	Uso de las briquetas
Europa					
Suecia	94	1.405.000	1.850.000	(445.000)	Energía / Calefacción
Italia	75	650.000	850.000	(200.000)	Calefacción
Alemania	50	1.460.000	900.000	560.000	Energía / Calefacción
Austria	25	626.000	509.000	117.000	Calefacción
Polonia	21	340.200	120.000	90.000	Calefacción
Rumania	21	114.000	25.000	89.000	Calefacción
Finlandia	19	373.000	149.200	223.800	Calefacción
España	17	100.000	10.000	90.000	Calefacción
Bulgaria	17	27.200	3.000	24.200	Calefacción
Letonia	15	379.000	39.000	340.000	Calefacción
Reino Unido	15	125.000	176.000	(51.000)	Energía / Calefacción
Eslovaquia	14	117.000	17.550	99.450	Calefacción
Rep. Checa	12	27.000	3.000	24.000	Calefacción
Bélgica	10	325.000	920.000	(595.000)	Energía / Calefacción
América – Asia					
Canadá	31	1.200.000	200.000	1.000.000	Calefacción
Estados Unidos	97	1.800.000	2.096.150	(296.150)	Calefacción
Brasil	1	25.000	25.000	0	Calefacción
Argentina	1	7.000	7.000	0	Calefacción
China	1	50.000	50.000	0	Energía / Calefacción
Japón	55	60.000	109.000	(49.000)	Energía / Calefacción
Corea	1	10.000	10.000	0	--

ACTUALIDAD DEL MUNDIAL MERCADO DE PELLETS

El mercado de pellets de madera está en auge, CEE trasformara el 20% de la energía eléctrica por fuentes renovables antes de terminar 2.020.

La demanda de pellets en el mundo se ha incrementado, en la última década y las exportaciones desde América también han crecido, en el año 2013 el consumo mundial de pellets fue de 19 millones de toneladas.

En Europa países como Italia, Alemania Suecia y Francia son los principales países consumidores y productores de pellets de uso doméstico.

En cuanto a los pellets industriales, Estados Unidos y Canadá han firmado contratos de suministro a largo plazo con las plantas europeas, asegurando la venta de su producción por 10 años. La tercera unidad de Drax Power Station del Reino Unido, consumirá más de 8 millones de toneladas de pellets en el año 2.015.

El consumo de pellets va en aumento y mayor eficiencia en la producción, con una economía de escala cada vez más importante, mantiene la competitividad del pellet inclusive frente a la baja de los precios de los hidrocarburos.

Las grandes fábricas están situadas en Estados Unidos y Canadá, en cuanto a las fábricas de Europa debido a los altos costos de la materia prima, electricidad y mano de obra, esto sumado a la capacidad de producción media, reducen los márgenes para competir con las productoras americanas.

En Norteamérica la Asociación Americana Productora de Pellets (USIPA) está conformada por 62 empresas con una producción promedio de 500.000 toneladas por año. La mayor parte de los productores americanos se han certificado en Enplus, brindando la confianza necesaria para penetrar el mercado europeo doméstico.

El descenso en la producción de la pasta de papel y el consiguiente aprovechamiento comercial fue de 14% entre 1.995 y 2.011, esto ha permitido que los propietarios forestales se interesen más en la biomasa como fuente de ingresos.

Al sudeste de Estados Unidos, las plantaciones de pino se talan a los 20 años y son transportados a puertos cercanos donde se enviados a Reino Unido, Bélgica, Dinamarca y Holanda y desde esos países al resto de Europa.

En Austria desde hace 10 años los pellets cuestan la mitad del precio del gasóleo y el gas natural, y en Alemania. El precio subió de 20 a 25 centavos de Euro por kilogramo entre 2.010 y 2.012, pero en los últimos años los inviernos menos recios han permitido la baja de los precios, por la menor demanda.

Tanto Alemania como Austria producen más de los pellets que consumen. 150.000 toneladas de balance positivo en Alemania y 230.000 toneladas en Austria.

Suecia ha implementado 5 nuevas plantas productoras de pellets en 2.013 con una producción de 140.000 toneladas, el uso de pellets domésticos está creciendo considerablemente en dicho país.

También en Finlandia el uso de pellets en grandes plantas es intenso, así como en aplicaciones comerciales e industriales. La tendencia a futuro de este país es que pase de ser un país exportador para convertirse en importador.

Canadá produce anualmente 2.2 MT por año, la mayor parte de su exportación también termina en el Reino Unido e Italia, pero exporta inclusive hacia el norte de Estados Unidos

para uso doméstico, la compañía British Columbia, ubicada en la costa oeste Canadiense exporto en 2.013 a Japón 76.000 T y a Corea 113.000 T.

Rusia es otro gran productor de pellets a granel, la ventaja que tiene este país es que la materia prima abunda, la mano de obra y la electricidad son muy económicas, esto contrarresta a los elevados costos logísticos para la exportación.

El consumo de pellets en estufas está aumentando en Europa, unos 160 fabricantes de estufas venden sus productos en Italia, Francia y España.

Se calcula que en 2.014 se instalaron 400.000 estufas, también calderas de potencias inferiores a 35 KW es aproximadamente de 80.000 unidades vendidas.

Alimentar todos estos equipos requiere aproximadamente importar más de 1.7 toneladas por año de pellets. La escases en Italia ha aumentado, y pasó de producir 800.000 a 300.000 Toneladas año, por tal motivo Italia es el principal importador de pellets domésticos, se importa desde otros países de Europa, pero la tendencia es importar desde Rusia y Estados Unidos. En Italia se incentiva la compra de calderas y estufas de biomasa. Además los altos precios de los hidrocarburos hacen que sean cada vez más y más interesantes para este mercado.

En el caso Francés también son las estufas las que generan el mayor consumo de pellets, en relación a que por cada caldera se comercializan 10 estufas, y para el año 2.013 el número de estufas se duplico, en la actualidad se han vendido aproximadamente 100.000 estufas, para Francia los pellets domésticos se comercializan en sacos, la mayor demanda ha generado que se incrementen los precios debido a la escases de materia prima y a la necesidad de importaciones. Para satisfacer el consumo en 2.014 se importaron aproximadamente 200.000 Toneladas desde España, Portugal y Alemania. La producción de pellets en este país está ligada a la industria de los aserraderos, un 50% de estos producen pellets, el otro 50% utilizan los residuos para usos farmacéuticos, concentrados para ganado, entre otros. 50 aserraderos de Francia producen entre 120.000 y 300.000 toneladas por año. Las más grandes están certificadas en ENPLUS.

Portugal es un gran productor de pellets, en 2.014 produjo 1.000.000 de Toneladas, de las cuales 775.000 se exportaron para uso industrial (plantas de cogeneración en Reino Unido), y para el consumo nacional 80.000 toneladas para uso doméstico y 120.000 para uso industrial, el resto de producción se exporto hacia España.

La principal limitante de Portugal es que los impuestos para los pellets son muy altos y el IVA es del 23%, en España el consumo va en aumento el consumo para 2.015 se calcula en unas 4,50.000 Toneladas, la presentación preferida por el consumidor español es el saco, y cada vez se tiene más en cuenta la certificación ENPLUS.

El precio regular de exportación es aproximadamente 180 euros por tonelada, y en Italia que es su principal comprador, se comercializa aproximadamente en 300 euros por tonelada. A futuro se estima que España también se convierta en un importador neto, ya que el consumo está aumentando de manera muy representativa.

La mayor parte del negocio de los pellets está controlado por las llamadas en economía financiera "Trader", su gestión es comprar en Norte América y ensacar en los puertos de la unión Europea, se estima que son 225 traders dedicadas al negocio, en su gran mayoría alemanas.

En Colombia, referente al tema de producción de biomasa, se destacan las briquetas elaboradas en Santander de Quilichao, al norte del departamento del Cauca, que tienen un estimado de exportación de cinco años iniciando desde el año 2012, con destino a Suiza.

La planta Villa Don Bosco tiene una capacidad de producción de 1.560 toneladas por año y que tuvo una inversión cercana a los \$3.500 millones, gracias a la alianza de las compañías Smurfit Cartón de Colombia, Gases de Occidente y el Centro de Capacitación Don Bosco utiliza la materia prima de residuos forestales de árboles como el pino, el eucalipto y las socas provenientes de los cafetales de la región, con la que producen briquetas de 30 centímetros que pueden generar calor durante seis horas, sin producir ceniza, y con bajo porcentaje de humo.

La planta que ocupa 1.400m², provee 250 empleos indirectos con los que espera, además de generar una producción para suplir sus exportaciones a Suiza, abastecer un futuro consumo local dirigido a la industria.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS PELLETS EXISTENTES

Diámetro	6-12 mm
Longitud	4-5 milímetros
Densidad aparente	500-600 kg/ m ³
Contenido de humedad	8-12%
Contenido de cenizas	< 0,5%
Contenido de partes pequeñas	< 1.5%
Poder calorífico	17-19 MJ/kg
Contenido de azufre	≤ 0,08%
Contenido de cloruros	≤ 0,03%

ANÁLISIS DE COSTOS DE COMERCIALIZACIÓN DE PELLETS Y BRIQUETAS DE MADERA A NIVEL INTERNACIONAL

Como se trata de una alternativa para generar energía, que estimula el buen uso de los recursos renovables a beneficio del medio ambiente pero también, que genera ganancias para la industria; no en vano son cientos de millones de euros los que se mueven, anualmente, en la comercialización de briquetas en Alemania, Dinamarca, Austria, Estados Unidos o Canadá.

A nivel mundial, el mercado de briquetas las comercializa en diferentes presentaciones. En Europa, como en Norteamérica es frecuente conseguirlas en forma cilíndrica; de prisma hexagonal; en forma octogonal el tipo menos común y que tiene como característica especial un orificio para acelerar su combustión; y de forma rectangular, con sus cuatro esquinas redondeadas para que, si impactan contra el suelo o tienen algún tipo de choque en su transporte, no se quiebren; estas últimas tienen también la ventaja de arder más

espacio, razón por la cual son las más vendidas para uso casero, específicamente, al sur de América.

Vale anotar que pese a la variedad en la presentación de las briquetas, primordialmente, sus formas se deben al parecido más fiel posible, que buscan los fabricantes de este producto, con los leños de madera; el propósito es ofrecer combustibles iguales en forma a como se ve la leña en las chimeneas y estimular –no sólo por eficiencia sino también por apariencia su consumo, uno alto en el mercado y que por lo tanto, ha demandado también productos normatizados.

Es así como en Europa –como es el caso de Alemania, Suecia y Austria– y Norte América, la fabricación y venta de briquetas está sujetas a reglamentaciones o regulaciones para asegurar la calidad del producto, además de un transporte y comercialización eficientes.

6.4 FASE 4. ESTIMACIÓN FACTIBILIDAD DE DESARROLLO SISTEMAS DE GENERACIÓN DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS A PARTIR DE RESIDUOS MADEREROS EN COLOMBIA

CALCULO INDICADORES ECONÓMICOS \$/kg, \$/KJ

Desde el año 2014 en Colombia se impulsó el uso de la biomasa, presentándose como una excelente oportunidad ante la Ley de promoción de energías renovable. La intención de esta consiste en utilizar la biomasa residual y de cultivos energéticos para uso doméstico como calor de autoconsumo (estufas, micro-producción artesanal, etc.) e incluso ofrecer electricidad renovable a la red.

En todo el territorio colombiano el sector de la generación de energía está dividido en un 64% para la energía hidráulica y un 33% para la generación térmica, mientras que las demás como eólicas, solar y la biomasa han sido ligeramente investigados.

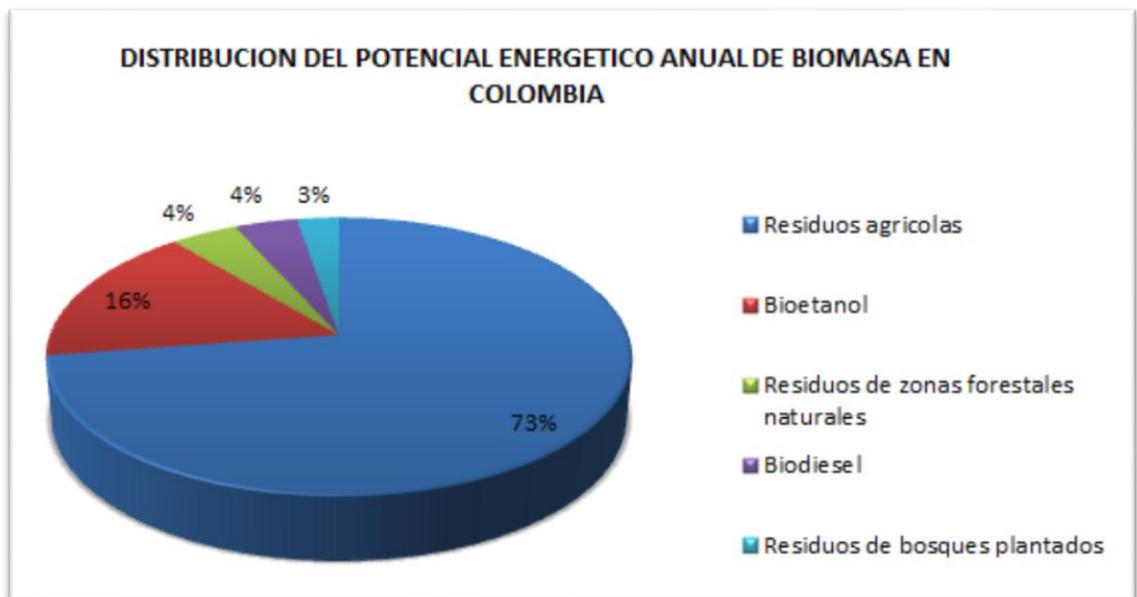
Beneficios claros de la Ley de promoción de energías renovables.

1. Fondo nacional para financiar parcial o totalmente programas y proyectos con energías renovables.
2. Se fijan incentivos a la investigación y desarrollo e inversión (hasta el 50% de la renta durante 5 años).
3. Incentivo impositivo con el IVA (exclusión de IVA para equipos, maquinaria, servicios nacionales o importados, etc.)
4. Incentivos arancelarios en la importación de tecnología relativa a la generación alternativa de energías.
5. Incentivos contables (depreciación acelerada de equipos).

Colombia es un país que por su gran cantidad de actividad agrícola genera de la misma forma una gran cantidad de residuos aplicables para biomasa (banano, cascarillas de arroz, desperdicios animales, pulpa y cascara de café, entre otros), mas sin embargo gran parte del sector está dedicada a la caña, como se mencionó antes su proceso de crecimiento es muy corto y la generación puede alcanzar cantidades de producción de hasta 1,5 millones de toneladas por año, otro gran producto que ha tomado fuerza como motivo de estudio ha sido la cascarilla de arroz con una producción anual de 457.000 toneladas anuales. El potencial estimado sobre la generación energética de la biomasa anual en Colombia es de 16GWh, lo cual representa menos del 0,1% de la producción eléctrica actual del país.

POTENCIAL ESTIMADO SOBRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ANUAL DE BIOMASA EN COLOMBIA

Producto	MWh/año
Residuos agrícolas	11.828
Bioetanol	2.649
Residuos de zonas forestales naturales	698
Biodiesel	658
Residuos de bosques plantados	442



Pese a la oferta y beneficios de subsidios que hay para impulsar el trabajo de fabricación y estudio de la energía de biomasa, en Colombia el mercado dedicado a este sector está pobremente explorado, por más que se ha investigado sobre este tipo de productores, un cálculo sobre indicadores económicos ha sido casi que imposible debido precisamente a la falta de mercado y; aunque si hay un claro sector dedicado a la comercialización de las máquinas para la fabricación de pellets y briquetas, la comercialización de pellets y briquetas resulta ser casi nula, dejando a estos productos dedicados principalmente para el mercado doméstico y para pequeñas actividades artesanales.

En la ciudad de Bogotá, locación principal del estudio y desarrollo del proyecto, se maneja un mercado de briquetas inicialmente en almacenes de cadena y grandes superficies; son productos que manejan una función muy generalizada, e inicialmente recreativa, se refiere a que en uso doméstico es principalmente para calefacción en hogares que aun poseen chimeneas o para actividades de cocina o preparación de alimentos al aire libre (puesto que en la mayoría de hogares se usa principalmente el gas natural y el gas propano), incluso compartiendo el mercado de las briquetas y siendo aún más común su uso, está el carbón.

Debido a su uso generalizado, las características químicas son muy similares entre los pocos proveedores encontrados, en cuanto a las briquetas encontradas en almacenes de

cadena, se indica un poder calorífico alrededor de los 18KJ/kg (dentro de los estándares de calidad) y su precio varía entre los 4.000 y 6.000 pesos colombianos, para compras pequeñas de estos productos. Pese a varios intentos de contactar productores independientes y empresas en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, como fue el caso de Biocol, dedicado a la fabricación de pellets de bagazo de Caña de azúcar no hubo respuesta por parte de estos productores con información clara sobre catálogos o propiedades físico-químicas de las briquetas, en cuanto Biocol se encontró información económica de un costo de 120€ por Tonelada métrica de pellets más sin embargo nada de información al respecto de su calidad, estándares o características.

7. CONCLUSIONES

El presente proyecto de investigación tras finalizar con el periodo estipulado para su desarrollo y las actividades propuestas en el cronograma expuesto previamente; en relación a los objetivos específicos del mismo proyecto, concluye:

En Colombia, el establecer las condiciones actuales de la industria maderera no es un trabajo sencillo. A lo largo del proyecto se presenció que debido a la poca información registrada y al poco enfoque que se le da a la exploración de generación alternativa de energías no ha sido sencillo contar con estudios y datos fiables que ofrezcan una situación clara sobre el enfoque de la biomasa para producción de pellets y briquetas, por el contrario se concluye que hace falta impulsar la práctica y registro científico con productos de calidad uniforme, infortunadamente, más allá de los pequeños productores no hay una entidad o inversor privado que realmente esté interesado en este sector.

Las tecnologías y procesos usados para la producción de pellets y briquetas fue analizado en la fase 2 de este mismo proyecto, más allá de pequeños cambios en el diseño de las máquinas para fabricación de estos, se aprecia que las tecnologías han resultado estables y favorables para la producción de pellets, aunque hay países en que la demanda ha superado enormemente a la oferta, el problema se ha identificado en la cantidad de materia prima disponible, almacenamiento, o demás factores no relacionados con la maquinaria, puesto que las condiciones de cultivo no son favorables o debido a que no todos estos lugares cuentan con la cantidad de tierra necesaria para el cultivo de especies que satisfacen esta demanda. El mercado de máquinas para fabricación de pellets y briquetas es suficiente pero no el producto base, adicionalmente a esto y a pesar de las leyes para el impulso y estudio de energías alternativas de cada país, el hecho de poseer una maquina pelletizadora es algo que si bien puede ofrecer un ahorro en combustible a largo plazo, también demanda una gran inversión inicial que solo se verá reflejada a largo plazo y en un uso propio.

En cuanto a inclusión de nuevos procesos, pese al potencial agrícola de Colombia no se ha presentado un estudio, investigación o proyecto que busque la modificación o mejoramiento de los procesos establecidos para la fabricación de pellets y briquetas, gran parte del material generado en Colombia se utiliza como exportación, o se utiliza para su transformación a combustible sólido y su posterior exportación, debido a las condiciones climáticas y la regular estabilidad climática, Colombia no es un país que dependa mucho de estos productos para su uso de generación calorífica directa, mas sin embargo aún tampoco se ha profundizado en aquel que puede ser un sistema alternativo para la generación eléctrica sobre todo en zonas donde la cantidad de residuos madereros es alta.

8. FUENTES Y BIBLIOGRAFÍA

- http://www.pelletprocess.de/?page_id=18&lang=en
- <http://bioenergycrops.com/es/2014/01/20/biomasa-en-colombia-ley-renovables/>

- http://www.revista-mm.com/ediciones/rev83/insumo_pellets.pdf
- http://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Pacto-Interseccional-de-Madera/Pacto-Madera/PACTO_INTERSECTORIAL_MADERALEGAL.aspx
- https://adecobureba.files.wordpress.com/2012/12/plan-de-negocio_fabricacic3b3n-de-pellets.pdf
- <http://www.fao.org/forestry/country/57478/es/col/>
- <http://www.scielo.org.co/pdf/itec/v11n2/v11n2a10.pdf>