



**ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO
SUSTENTABLE DE LOS RESIDUOS GENERADOS
EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN DOS
MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ**

JHOAN DAVID ESCOBAR CÓRDOBA

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Dirección de posgrados
Medellín, Colombia

2018

ANÁLISIS DEL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN DOS MUNICIPIOS DEL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ

JHOAN DAVID ESCOBAR CÓRDOBA

Informe de investigación presentado como requisito para optar el título de:
Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

Ing. Julio Eduardo Cañón Barriga, MSc., Ph.D.

Grupo de investigación:

GAIA

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería-Dirección de posgrados
Medellín, Colombia
2018

Le dedico este trabajo a Dios, quien guía mi andar y es quien me ha dado fuerzas, fortaleza y paciencia para seguir adelante. A mi madre Diva Escobar, a mi tía María Janeth Escobar y a mi abuela Cristobalina Córdoba y demás familiares, a quienes jamás encontraré la forma de agradecer todo el apoyo y formación que me han brindado. A mis hijos Elian David y Juan José Escobar, quienes han sabido comprender mis ausencias y el gran tiempo que pasó en el computador. A ellos dedico este trabajo. Sin ellos, nada de esto sería posible.

“Persistir, resistir y nunca, pero nunca en la vida, desistir”

Anónimo

AGRADECIMIENTOS

“Si caminas solo, iras más rápido. Si caminas acompañado llegarás más lejos”.

Proverbio chino

Al profesor Julio Cañón, asesor de la investigación, quien me brindo su ayuda y conocimiento para la realización de este trabajo. Gracias por su comprensión y apoyo. Su exigencia y motivación fueron punto clave para la culminación de este trabajo. Al profesor Edgar Alberto Martínez por brindarme su conocimiento y a poyo en la elaboración del ACV, a la compañera Diana Morales por la ayuda brindada en la realización del presente trabajo. Al proyecto CTeI Madera Chocó ejecutado por la Universidad Tecnológica del Chocó y dirigido por el ingeniero Yesid Aguilar, quien fue el promotor y principal colaborador de este trabajo. A los compañeros Nixon Moya, Juan Carlos Maturana y Jeffrey Rivera, quienes me colaboraron con toda la información recolectada para este trabajo. A todos ellos y los que me rodearon y me dieron fuerza y apoyo para la culminación de este trabajo infinitas gracias.

Tabla de contenido

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos Específicos.....	15
4. MARCO TEÓRICO	16
4.1 Biomasa	16
4.1.2 almacenamiento de CO2 en la Biomasa.	17
4.2 Aprovechamiento sustentable de residuos de madera en ebanisterías y aserraderos.....	17
4.3 Restos de madera.....	18
4.4 Clasificación según su composición química de la biomasa	19
4.5 Contenido de humedad	20
4.6 Densidad aparente.....	20
4.7 Tecnologías para el aprovechamiento de residuos de madera	22
4.8 Aprovechamiento energético	23
4.9 Densificación y compactación de la biomasa	25
4.9.1 Elaboración de pélets	25
4.9.2 Briquetado:	27
4.10 Elaboración de aglomerados	27
4.11 Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	30
4.11.1 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	32
5. METODOLOGÍA	33
5.1 Área de estudio	33
5.2 Primera fase.....	35
5.3 Segunda fase	35
5.4 Tercera fase.....	36
5.5 Cuarta fase.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37

6.1	Localización de las empresas y puntos de acopio de la biomasa residual	37
6.2	Disponibilidad de los residuos biomásicos en la zona	40
6.3	Características fisicoquímicas de la biomasa residual generada	41
6.4	Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	42
7.	CONCLUSIONES	48
8.	REFERENCIAS	49
Anexos	57

Tabla de Figuras

Figura 1 Residuos de madera arrojados al río Atrato.....	14
Figura 2 Residuos de madera acumulados en las ebanisterías y aserraderos.....	14
Figura 3 Ciclo esquemático de la biomasa	16
Figura 4 Residuos de biomasa (aserrín, viruta y astillas).	19
Figura 5 Generación de energía con biomasa residual (gasificación)	24
Figura 6 Elaboración de Pélets	25
Figura 7 Esquema del proceso de elaboración de Aglomerado	29
Figura 8 Inventario de entradas y salidas de la elaboración de aglomerados	30
Figura 9 Fases del análisis de ciclo de vida	31
Figura 10 Ubicación del Área de estudio, municipio de Quibdó y Riosucio en el departamento del Chocó (Colombia)	34
Figura 11 Esquema de la metodología empleada.	34
Figura 12 Esquema de generación de residuos de biomasa.	38
Figura 13 Fuentes generadoras de residuos de biomasa en el municipio de Quibdó	38
Figura 14 Fuentes generadoras de residuos de biomasa en el municipio de Riosucio	39
Figura 15 Ruta de la madera en los municipios de Quibdó y Riosucio	40
Figura 16 Chipeadora Koyote.	43
Figura 17 Peletizadora Maquimpro.....	44
Figura 18 Gasificador Power Pallet PP20.	44
Figura 19 Diagrama de sistema generado por el Software Open LCA para la elaboración de pélets	46
Figura 20 Diagrama de sistema generado por el Software Open LCA para el aprovechamiento energético	46

Tablas

Tabla 1. Composición Química de la madera.	20
Tabla 2. Propiedades relevantes de la biomasa residual para su aprovechamiento.....	22
Tabla 3 Potencial de Calentamiento Global para cada alternativa,	33
Tabla 4. Disponibilidad de biomasa residual de origen maderero en Quibdó.....	41
Tabla 5. Disponibilidad de biomasa residual de origen maderero en Riosucio	41
Tabla 6. Nombre de especies forestales analizadas.....	42
Tabla 7. Análisis último y próximo de la biomasa residual seleccionada.....	42
Tabla 8. Datos de entra y salida del sistema para la elaboración de pélets.	45
Tabla 9. Datos de entrada y salida del sistema para la generación de energía.	45
Tabla 10. Árbol de contribuciones por procesos	47
Tabla 11. Árbol de contribuciones por procesos.....	47
Tabla 12. Resultado de EICV OpenLCA v 1.6	48
Tabla 13. Resultado de EICV OpenLCA v 1.6	48

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Abreviaturas

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
CTeI	Ciencia Tecnología e Innovación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación
IIAP	Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico
CODECHOCÓ	Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó.
PSF	Punto de Saturación de las Fibras
LCI	Inventario de Datos de Ciclo de Vida
ELCD	Life Reference Life Cycle Design
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HHV	Poder calorífico superior
LHV	poder calorífico inferior
PCG	Potencial de calentamiento global
UTCH	Universidad Tecnológica del Chocó

RESUMEN

La presente investigación evaluó las posibles soluciones ambientales sustentables a la problemática de los residuos de madera (biomasa residual) generados en los aserraderos y ebanisterías de los municipios de Quibdó y Riosucio en el departamento del Chocó. La evaluación se efectuó para tres usos: generación de energía alternativa, materiales aglomerados y fabricación de pélets de madera. Se identificaron 109 empresas en los dos municipios (95 en Quibdó y 14 en Riosucio), que generan 723.15 ton/año de residuos biomásicos en Quibdó y 591.42 ton/año de residuos en Riosucio. Se caracterizaron tres muestras de las especies forestales más utilizadas (*Lechero*, *Guamillo* y *Jigua*), y una cuarta muestra compuesta por una mezcla de estas especies, ya que las empresas no realizan separación en sus procesos de transformación. Las muestras presentaron poderes caloríficos inferior (LHV) de 13.013 kJ/kg, 15.334 kJ/kg, 13.452 kJ/kg y 15.345 kJ/kg respectivamente, siendo la mezcla la de mejor poder calorífico para propósitos de generación de energía. Como mecanismo de selección de alternativas se elaboró el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) con el software OpenLCA 1.6, usando los datos de Ecoinvent 3.3 (indicadores de impacto del IPCC 2013), a partir de los cuales se estimó que la elaboración de los pélets genera 298.94 kg CO₂-eq GWP 20^a y 279.41 kg CO₂-eq GWP 100 y el aprovechamiento energético de estos residuos genera 572.92 kg CO₂-eq GWP 20^a y 559.35 kg CO₂-eq GWP100. La elaboración de los aglomerados no se consideró viable debido a la cantidad de procesos requeridos para producirlos, además del costo de la maquinaria y de las condiciones climáticas de la región (humedad y precipitación) las cuales deterioran el producto.

Palabras claves: Ciclo de Vida, Biomasa, Pélets, Aglomerados, Georreferenciación, Chocó.

ABSTRACT

This research evaluated the possible sustainable environmental solutions to the problem of wood residues (residual biomass) generated in sawmills and joinery of the municipalities of Quibdó and Riosucio in the department of Chocó. We evaluated three uses: generation of alternative energy, agglomerated materials and manufacture of wood pellets. We identified 109 companies in the two municipalities (95 in Quibdó and 14 in Riosucio), which generate 723.15 tons / year of biomass waste in Quibdó and 591.42 tons / year of waste in Riosucio. We characterized three samples of the most used forest species (Lechero, Guamillo and Jigua), and a fourth sample composed of a mixture of these species, since the companies do not perform separation in their transformation processes. The samples presented calorific values of (LHV) 13.013 kJ/kg, 15.334 kJ/kg, 13.452 kJ/kg y 15.345 kJ/kg respectively, being the mixture the one with the best calorific value for purposes of power generation. As a mechanism for selection of alternatives, we developed the Life Cycle Analysis (LCA) with the OpenLCA 1.6 software, using data from Ecoinvent 3.3 (impact indicators of IPCC 2013). The analysis allowed us to determine that only the production of pellets generate 298.94 kg CO₂-eq GWP 20a and 279.41 kg CO₂-eq GWP 100, and the energy use of this waste generates 572.92 kg CO₂-eq GWP 20a and 559, 35 kg CO₂-eq GWP. We did not consider agglomerates as a viable option, due to the amount of processes required for their elaboration, the cost of machinery required and the climatic conditions of the region (humidity and precipitation) that may easily deteriorate the product.

Keywords: Agglomerates, Chocó, Biomass, Life Cycle, Pellets, Georeferencing.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los desafíos que enfrenta actualmente la humanidad es la necesidad de reducir y aprovechar sus residuos, ya sea para elaborar nuevos productos o para generar nuevas fuentes renovables de energía (Johnson, H. 2013). La industria de la transformación de la madera no es ajena a la problemática de los residuos, ya que estos desperdicios están considerados como una de las mayores complicaciones en esta industria, no solo por los costos que demandan su almacenamiento o evacuación, sino también porque son causantes de contaminación ambiental (Amaya Cubillos, 2015; López et al., 2015). Es bien conocido que esta industria genera grandes sobrantes que por sus dimensiones y características no pueden comercializarse, pasando en algunos casos a ser utilizados como leña, compost o simplemente a ser arrojados a predios baldíos o a orilla de los ríos (Ramírez-Sánchez et al., 2017). Pinelo et al. (2015) consideran que la industria de la madera debe dar el valor agregado al producto forestal y debe contribuir a la conservación de los recursos forestales mediante el aprovechamiento de la materia prima, mejorando su rendimiento y buscando alternativas de utilización de los residuos generados en los diferentes procesos de transformación, tal como se ha venido haciendo en algunos países desarrollados donde la actividad industrial del sector forestal tiene un aporte significativo en la economía y donde estos residuos de madera son aprovechados industrialmente entre un 50% y un 70% con tendencia al alza, en una gran variedad de usos (Castells, 2012; Latina et al., 2001).

Entre los usos dados a los residuos de madera están: la fabricación de triplex o tablex, que es un aglomerado que se utiliza especialmente en embalajes y construcción. También se utiliza el aserrín como producto para el compostaje (Morales Romero, 2010; Para el Desarrollo Tecnológico, F. A., & Social, B. C., 2007). Actualmente con estos desperdicios biomásicos (i.e., madera) se genera energía calórica y electricidad (Nogués, F. S. 2010). El grupo *National Timber Product Stewardship* de Australia establece que este tipo de aprovechamiento de residuo de madera con fines energéticos emite 50 veces menos gases de efecto invernadero (GFI) que la combustión de carbón y 30 veces menos que el gas natural (Erazo Rosales, 2014). Además de los anteriores usos, con los residuos de madera también se están elaborando productos como los pélets o briquetas (Núñez et al., 2012), que son productos resultantes de la compresión de los residuos de madera (aserrín) y que por su forma y tamaño pueden ser utilizados en las chimeneas y estufas ecológicas para generar calor o cocinar los alimentos, reduciendo las enfermedades pulmonares generadas por el humo del carbón (Guillén & Dávila, 2014; Salvador, 2010).

En cuanto a los residuos de madera generados en Colombia, se ha podido observar una gran brecha en temas referentes al aprovechamiento de los residuos de madera generados en los aserríos y en las ebanisterías, escenario que es indispensable tener en cuenta si se pretende implementar los criterios e indicadores de desarrollo sostenible para el aprovechamiento forestal. Para el año 2001 en el país existían 460 establecimientos productores de madera y muebles, que generaban alrededor de 14000 empleos (Serna & Agualimpia, 2016). En el 2011 las inversión en el tratamiento de los residuos que generaban estas empresas correspondió al 10% (79.252 millones) y en el 2012 al 6.6% (89.31 millones), lo que se puede

interpretar de dos formas: 1) como un mejor manejo de la materias primas, lo cual disminuye considerablemente los residuos y el costo por su disposición, o 2) como un incremento en la disposición final de los residuos de una manera informal (López, 2012, p. 28-29). Además, el traslado y disposición de estos residuos tiene un costo de entre uno y dos millones de pesos, según la disposición final, lo que incrementa el costo del tratamiento de los residuos para las empresas. Adicionalmente las empresas que transforman la madera consideran como última opción la reutilización de estos residuos (virutas, aserrín y recortes de madera) (Amaya Cubillos, 2015), lo que demuestra un desconocimiento frente al tema de la reutilización de los residuos de madera y el aprovechamiento de los mismos para la generación de oportunidades de negocio. El aprovechamiento de estos residuos maderables es un tema que solo hasta ahora se está tocando en el país, por lo tanto es muy poca la información sobre volúmenes, disposición final que le dan a estos residuos y análisis de ciclo de vida a sus procesos de transformación en el país.

El departamento del Chocó no es ajeno a la problemática ambiental originada por la mala disposición de estos residuos de madera en el país, ni al desconocimiento de las nuevas técnicas de aprovechamiento de estos residuos. Arroyo, et al (2007) indican que en las labores de aprovechamiento forestal en la región del Sanjuán en el departamento del Chocó se desperdicia el 30.8% del volumen madera total respecto al comercial; 70.8% del volumen total respecto al volumen de las trozas, 86.4% del volumen total respecto al de bloques y 91.44% del volumen total respecto al procesado de madera, esto sin contar los residuos generados en la extracción de madera en el bosque (como los fustes huecos, torcidos, los árboles que se astillan en la caída, las cantoneras o costeras, las ramas y el aserrín resultante del proceso de aprovechamiento) que quedan sin ningún aprovechamiento (Guardia, et al., 2015).

Serna & Agualimpia (2016) indican que sólo en Quibdó las ebanisterías generan aproximadamente 3,63 m³ de residuos semanales de madera, lo cual equivale a 13,3 sacos por ebanistería, dejando de lado los residuos generados por los aserraderos. Estos autores señalan que el alto volumen de residuos de madera en el departamento del Chocó se debe a que las personas empleadas para esta labor poseen un conocimiento empírico sobre la transformación de madera, la maquinaria se encuentra en mal estado y los proceso empleados son pocos técnicos. En cuanto al número de empresas dedicadas a transformar la madera, reportes de Codechocó señalan que para el 2012 existían diez empresas de transformación primaria de madera, cuatro de transformación secundaria, 25 ebanisterías y cuatro compraventas. Pero en informes del proyecto CTel madera (Ciencia Tecnología e Innovación) (2016) se encontró que en nueve municipios del departamento del Chocó existen 154 ebanisterías, 26 aserraderos, 9 expendios para un total de 189 empresas encargadas de transformar la madera, de las cuales no se sabe qué volumen generan ni dónde disponen los residuos generados.

Teniendo en cuenta que la extracción de madera y la transformación de este recurso es base de la economía en esta región, que en los municipios de Quibdó y Riosucio no se conoce el volumen real y el destino final de estos residuos y que además existe una diferencia en la cantidad de las empresas que transforman la madera, esta investigación pretende conocer

datos de número de empresas, volumen de residuos y destino final de los mismos, así como resolver las siguientes preguntas ¿es posible reutilizar los desperdicios de madera generados por las ebanisterías y aserraderos en estos dos municipios? ¿Qué tipo de tecnología existente puede aprovechar estos residuos? ¿Se puede genera una contribución ambiental y social en estas comunidades con el aprovechamiento de este recurso?

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La transformación mecánica de la madera, así como otros procesos industriales, genera grandes volúmenes de residuos sólidos durante su proceso de explotación y transformación (Fernández Concepción, 2013; Fernández Soria, 2015). Estos residuos biomásicos constituyen focos de contaminación, dado que no se realiza un adecuado tratamiento, disposición final o reutilización que genere un valor agregado sin causar daños al medio ambiente y a la salud de las personas (Sierra Aguilar, 2010). En general, la problemática de los residuos de madera afecta las actividades que se desarrollan en la industria de la madera, a su personal y a los espacios adyacentes, convirtiéndose en un gran problema, no sólo por lo que representan en términos de recursos naturales perdidos, sino también por la creciente incapacidad en la gestión por parte de las empresas, quienes tienen obligaciones no sólo ambientales, sino también en el cumplimiento de legislación vigente.

Sumado a lo anterior, organizaciones internacionales como la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) advierten sobre los impactos ambientales causados en suelo y agua debido a la mala disposición de los residuos de madera que se acumulan en los aserraderos, ebanisterías y carpinterías. Estos residuos constituyen focos de contaminación y propagación de hongos que provocan la podredumbre, malos olores, proliferación de roedores, emisiones de dióxido de carbono y un riesgo para los trabajadores, ya que la acumulación de este material reduce el espacio y la maniobrabilidad para el desarrollo de las actividades. Además, estos residuos pueden ser causa de posibles incendios debido a su características fisicoquímicas (Zuluaga, 2013).

El departamento del Chocó no es ajeno a la problemática de los residuos generados en los procesos de transformación de la madera. Debido a que la actividad de explotación y transformación de madera es base de la economía en la región, donde según registros ambientales se extrajeron aproximadamente 1748000 m³ de madera para el 2012 (Codechocó, 2012; IIAP, 2004; Moreno & Rentería, 2007), Además, según información suministrada por el proyecto CTeI Madera Chocó, en el municipio de Quibdó existen más de 84 empresas que se dedican a transformar la madera y 14 en Riosucio, las cuales generan un volumen desconocido de residuos biomásicos semanales que no reciben tratamiento o disposición final. Estos residuos generan efectos en la salud de quienes habitan alrededor de las empresas y los puntos de acopio y contaminan la fauna acuática al ser arrojados a las fuentes hídricas (Semarnat, 2008; Velázquez Martí, 2006; Guardia, et al., 2010) (ver las figuras 1 y 2). En los demás municipios no se cuenta con inventario de estas empresas, ni del volumen de biomasa residual generado. Por lo tanto, se hace necesario localizar los puntos

de acopio de esta biomasa y determinar el volumen que se genera en estos dos municipios de estudio, para evitar la contaminación al medio ambiente.



Figura 1 Residuos de madera arrojados al río Atrato (fuente propia, tomada en abril de 2016).



Figura 2 Residuos de madera acumulados en las ebanisterías y aserraderos (Fuente Propia, tomada en junio de 2017).

En la figura 1 se puede observar como son dispuestos los residuos de madera a la orilla del río Atrato, generando contaminación en esta importante fuente hídrica del departamento. En la figura 2, se puede observar cómo se acumula este residuo en el interior de las empresas, lo que reduce el espacio para trabajar y pone en riesgo la integridad de los trabajadores.

Dado que en el departamento no se realiza tratamiento final a los residuos madereros y que el tratamiento depende de la economía y los medios de transporte (IIAP, 2004), la presente investigación buscar contribuir a la solución de esta problemática ambiental originada por la mala disposición de estos residuos, mediante la evaluación del aprovechamiento sustentable de esta biomasa como materia prima para la generación de energía alternativa, pélets o materiales aglomerados. Para esto se hace necesario localizar los puntos de acopio de la biomasa, cuantificar el volumen que se genera y determinar sus características fisicoquímicas, además de hacer un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de las tecnologías de aprovechamiento que indique la mejor alternativa de aprovechamiento, teniendo en cuenta las condiciones geográficas y ambientales de la región. Todo lo anterior con la finalidad de mejorar las condiciones ambientales, minimizar los riesgos laborales para los trabajadores y fomentar la creación de empresas que reduzcan los índices de desempleo en la región.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Evaluar el aprovechamiento sustentable de la biomasa residual generada en la transformación de madera en los municipios de Quibdó y Riosucio en el departamento del Chocó.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los sitios donde se encuentra la mayor disponibilidad de biomasa residual de madera en estos dos municipios del Chocó.
- Calcular la disponibilidad la biomasa residual de madera presente en la zona de estudio.
- Identificar las propiedades fisicoquímicas de la biomasa residual generada en estos municipios.
- Evaluar el uso potencial sustentable de esta biomasa a partir de su análisis fisicoquímico y del Análisis de Ciclo de Vida de las tecnologías de aprovechamiento.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Biomasa

Biomasa se refiere a todas las sustancias orgánicas, con origen en los compuestos de carbón formados en la fotosíntesis (ver figura 3), particularmente a los restos generados en las industrias maderera, agrícola y de tratamiento de aguas residuales, que son utilizadas como fuente de combustible y de energía. Dependiendo del modo como se obtiene, la biomasa se clasifica en biomasa primaria y biomasa secundaria (Castells, 2012). La primaria es aquella que se obtiene directamente del ecosistema natural, mientras que la secundaria (o también llamada residual) es la que se obtiene como residuo o subproducto de una actividad humana (Nogués, 2010). Ésta última es la que estudiaremos con el objetivo de aprovechar sustentablemente los residuos de madera generados en Quibdó y Riosucio.

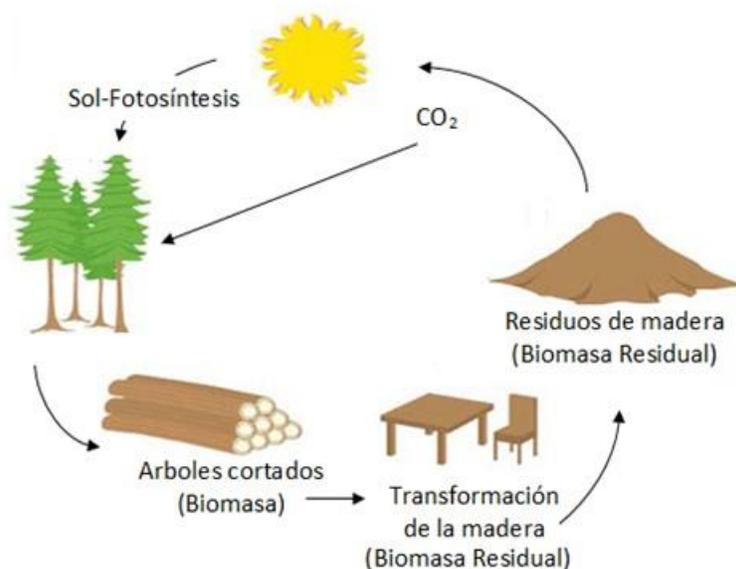


Figura 3 Ciclo esquemático de la biomasa (fuente propia).

El aprovechamiento de la biomasa residual es un tipo de tecnología que permite generar energía renovable que puede reemplazar el uso de algunos combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural (McKendry, 2002). Además este recurso puede ser utilizado nuevamente como materia prima para la elaboración de nuevos materiales tipo pélets, aglomerados, gas de gasificación de madera, biogás y biocarburantes presentan potenciales interesantes para proporcionar soluciones innovadoras (White, 2003).

Sumado a lo anterior los efectos medioambientales positivos de la biomasa se unen las ventajas sociales y económicas sobre todo por el hecho de que el cultivo, la recolección, el transporte y el tratamiento lo realizan las personas en las áreas locales. Esta circunstancia es importante para el desarrollo sostenible en muchas áreas rurales.

4.1.2 almacenamiento de CO2 en la Biomasa.

Los bosques almacenan CO2 que pueden retener durante décadas el anhídrido carbónico que toman de la atmósfera. Existen fundamentalmente tres procesos de almacenamiento:

1- Crecimiento: la biomasa en crecimiento se comporta como un almacén de carbono especialmente activo, puesto que tiene un crecimiento rápido, tan solo en los bosques europeos crecen cada año alrededor de 790 millones de m³ de madera nueva. Los 9 millones de hectáreas que crecieron en los últimos 10 años en Europa se encargan de eliminar de la atmósfera cada año unos 140 millones de toneladas de CO2, contribuyendo por tanto de forma notable a la protección del clima.

2- Recursos energéticos eficientes: algunos productos sintéticos procedentes de procesos petroquímicos pueden ser sustituidos por materiales biomásicos como la madera, fibras y aceites vegetales. Se requiere mucha menos energía para su extracción, procesamiento y eliminación, lo que supone un ahorro de emisiones de contaminantes y de CO2. Al final de la vida del producto, los materiales orgánicos pueden reutilizarse para la producción de energía, con lo que el ahorro es doble, pues se trata de dos ciclos de vida.

3- La utilización a largo plazo: la madera empleada más allá de la vida del árbol para construir materiales, mobiliario u otro tipo de bien de larga vida, ha almacenado una gran cantidad de CO2 que permanecerá con él la vida entera del producto.

4.2 Aprovechamiento sustentable de residuos de madera en ebanisterías y aserraderos

Según la real academia de la lengua española, la palabra aprovechar significa emplear útilmente algo, hacerlo provechoso o sacarle el máximo rendimiento. Por otro lado, la palabra residuos significa material que queda como inservible después de haber realizado un trabajo u operación (Avella Arévalo, 2008). Tomando las dos definiciones, con el aprovechamiento de residuos lo que se busca es emplear útilmente o sacarle el máximo rendimiento a materiales que son considerados como “inservibles”.

Gudynas (2011) indica que la sustentabilidad proviene del concepto de desarrollo sustentable, es decir, aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”. El concepto de “necesidades” se refiere en particular a las necesidades esenciales de los pobres del mundo, a los cuales se les debe dar prioridad (Gudynas, E. 2011). La palabra sustentabilidad es un concepto sistémico que aborda las dimensiones económica, social y ambiental. Una organización es sustentable cuando vela por su prosperidad, por la equidad social en las comunidades donde influye y por la calidad del medio ambiente. El término tiene sus orígenes en el sector forestal para explicar el simple principio de que no se puede sacar más madera de un bosque de la que puede crecer, si se desea que el bosque perdure (Weidinger et al., 2014).

Hoy en día es cada vez más común la práctica de reciclar y de reutilizar residuos de madera para la fabricación de nuevos productos y aplicaciones. La versatilidad de la madera permite construir una gran variedad de productos (Chan Martín et al., 2004). Los residuos se pueden recuperar y pueden utilizarse en la composición de tableros y aglomerados para distintos campos (arquitectura, industria y decoración). Además se puede utilizar la viruta de la madera transformada para generar celulosa (Ferrández García, 2018). Estos residuos de madera también se pueden convertir en una mezcla orgánica descompuesta y transformada en un fertilizante natural para la tierra, porque la viruta y el aserrín son materiales ricos en carbono, lo cual es ideal para generar compost (Tenecela Yuqui, 2012). El aprovechamiento de estos residuos disminuye el consumo de energía y con el reciclaje o aprovechamiento de los residuos de madera se contribuye a la conservación de los bosques, ya que para producir una tonelada de aglomerado, se necesitarían seis árboles (Castells, 2012).

Lo anterior supone un planteamiento ambiental inadecuado dado que el CO₂ fijado en los procesos biológicos de producción agrícola y forestal debería ser devuelto a la atmósfera lo más tarde posible en la cadena productiva (Martí, B. V., 2006). El significado de “sostenibilidad” o de “desarrollo sostenible” ha cambiado a lo largo del tiempo. En el pasado, “sostenible” podía, intercambiarse con “verde”, “ecológico” o “ambientalmente amigable”. Hoy, el término “sostenible” hace referencia no solamente a aspectos ambientales, también involucra la responsabilidad social y la viabilidad económica, lo que refleja la complejidad del concepto, ya que restringirlo al sentido ambiental no implica sólo una visión parcial e incompleta, sino también errada (Boada Ortiz, A., et al, 2017).

Este concepto de aprovechamiento sustentable es el que se busca implementar en el departamento del Chocó, dado que en el proceso de transformación de la madera en esta región se desaprovecha gran cantidad de material, con el cual se puede cubrir necesidades y generar nuevos materiales y a su vez se conserva el bosque del que se extrae este importante recurso.

4.3 Restos de madera

La FAO define como resto de madera aquellas partículas o desechos generados en los procesos de transformación de la madera, desde la explotación de este recurso hasta la elaboración de diferentes artículos (Carhuamaca, et.al., 2014). Entre ellos se cuentan (ver figura 4):

- **Recortes:** Se trata de trozos de forma variada y de dimensiones que van desde varios centímetros a más de un metro. Se generan principalmente en el sector de la madera y del mueble.
- **Aserrín y viruta:** El serrín es madera en polvo generada en los procesos de transformación y corte. La viruta tiene un tamaño algo mayor.
- **Envases de madera:** Pueden ser de tamaño pequeño, como las cajas de fruta, o de gran tamaño, como las empleadas para transporte de maquinaria.
- **Muebles, puertas:** Son en general residuos voluminosos y pesados. Los generan los ciudadanos al deshacerse de sus muebles.

- Restos de construcción y derribo: En la construcción se utiliza madera para el encofrado, vigas, soportes, puertas y ventanas, etcétera, que suelen ser desechadas tras su primer uso.
- Restos de poda: Con las tareas de mantenimiento y cuidado de los árboles, tanto en monte como en los núcleos urbanos, se generan residuos de madera en forma de troncos, ramas y hojas.



Figura 4 Residuos de biomasa (aserrín, viruta y astillas) (fuente propia).

En definitiva, los residuos de madera son todas las formas de madera que no pueden venderse en beneficio, procedentes de una operación de labrar o manufactura, bajo condiciones económicas precarias. Fernández Concepción, (2013) planteó que en el proceso de elaboración de la madera se genera una cantidad de residuos superior al 40%, entre estos se encuentra el aserrín y la viruta. De acuerdo con Lopez Castro & Blandon Castro (2016), los residuos poseen múltiples aplicaciones, pero las posibilidades se ven a veces limitadas por las dificultades de su manipulación, falta de uniformidad del material, disponibilidad, estado físico y transporte. Este último factor es el más crítico, ya que normalmente los residuos no se utilizan en el mismo lugar donde se originan, teniendo que ser movilizados grandes distancias hasta el lugar o los lugares de ubicación de las plantas procesadoras, lo que determina la eficiencia y productividad del sector de la madera.

4.4 Clasificación según su composición química de la biomasa

Según su composición la biomasa se clasifica en:

- **Biomasa azucarada:** biomasa con gran contenido en azúcares solubles (caña de azúcar, remolacha...)
- **Biomasa amilácea:** biomasa con alto contenido en almidón.
- **Biomasa oleaginosa:** biomasa con alto contenido en triglicéridos.
- **Biomasa lignocelulósica:** biomasa formada por celulosa, hemicelulosa y lignina (madera), esta última de interés para el estudio.

Además la madera se compone principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno. Tiene también sustancias minerales que luego de la combustión quedan como cenizas y trazas de nitrógeno (Sluiter et al., 2010). El carbono, el hidrógeno y el oxígeno se combinan para

producir celulosa, hemicelulosa y lignina (ver la tabla 1), en proporción variable según las especies (Zárate, J. B. 2016).

Tabla 1. Composición Química de la madera (Modificada de Salazar & Pérez, 2016).

Componentes químicos	Contenido
Celulosa	40 – 60 %
Hemicelulosas	15 – 30 %
Lignina	17 – 35 %
Extractivos	1 – 20 %
Cenizas	0.2 – 5.8 %

4.5 Contenido de humedad

La humedad es una variable muy importante en la biomasa, que está relacionada con el contenido de agua que posee una muestra en función de su peso (Martín et al., 2005) La humedad se determina en base seca (CH_u) o en base húmeda (CH_x). Las fórmulas para su cálculo son:

$$CH_u(\%) = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100 \quad (1)$$

$$CH_x(\%) = \frac{Ph - Po}{Ph} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

CH_u = humedad en base seca (en porcentaje)

CH_x = humedad en base húmeda (en porcentaje)

Ph = peso húmedo de la muestra y

Po = peso de la muestra después de ser secada en la estufa.

4.6 Densidad aparente

Cuanto menor es el contenido de agua en la madera, menor es su densidad, lo que mejora y aumenta su poder calorífico y densidad energética. La densidad aparente determina la carga inherente del material. La madera contiene una cantidad considerable de agua, aunque la cantidad depende de si se acaba de cortar o si se ha secado después del corte (Lima Rojas, 2013). La madera húmeda es la más pesada. Puesto que la masa de la madera depende de su contenido de agua, la densidad aparente es un valor que depende de la humedad de la madera. Al ser la madera un material poroso, debemos considerar una “densidad real” y una “densidad aparente” para la misma pieza de madera (ver la tabla 2) (Glass & Zelinka, 2010).

La densidad aparente se expresa como el cociente entre la masa y el volumen, obtenidos ambos para el mismo contenido de humedad. La norma IRAM 9544 establece las pautas para la determinación de las densidades aparentes de la madera. Existen tres tipos de densidad.

- 1- Densidad aparente anhidra (D_o): se expresa como la relación entre el peso de la muestra anhidra y el volumen de dicha muestra en iguales condiciones de humedad.

$$D_o(g/cm^3) = \frac{P_o}{V_o} \quad (3)$$

Donde:

D_o = densidad aparente anhidra en g/cm^3 .

P_o = peso anhidro expresado en g.

V_o = volumen anhidro expresado en cm^3 .

- 2- Densidad aparente normal (D_n): se define como la relación entre el peso de la muestra seca al aire y el volumen de la misma en iguales condiciones de humedad. Esta humedad debe corresponder a la humedad de equilibrio higroscópico.

$$D_n(g/cm^3) = \frac{P_h}{V_h} \quad (4)$$

Donde:

D_n = densidad aparente normal, en g/cm^3 .

P_h = peso húmedo o inicial, expresado en g.

V_h = volumen húmedo o inicial, expresado en cm^3 .

- 3- Densidad aparente verde (D_v): es la que posee la madera en la planta viva, que se puede considerar que se halla con su máximo volumen. Esta forma se utiliza principalmente para los cálculos de transporte de trozas hasta los sitios de elaboración.

$$D_v(g/cm^3) = \frac{P_v}{V_v} \quad (5)$$

Donde:

D_v = densidad aparente verde, en g/cm^3 .

P_v = peso húmedo o inicial, expresado en g.

V_v = volumen húmedo o inicial, expresado en cm^3 .

El numerador de estas ecuaciones aumenta en mayor proporción que el volumen, a medida que aumenta el CH entre el estado anhidro y el Punto de Saturación de las Fibras (PSF) la densidad aumenta. Pasado el PSF, al permanecer constante el volumen y seguir aumentando el numerador, la densidad sigue aumentando en mayor proporción. Las densidades aparentes anhidra y normal son las de mayor uso en investigación y en la industria, respectivamente.

Tabla 2. Propiedades relevantes de la biomasa residual para su aprovechamiento (tomado de Carmona Cerda, 2015).

TIPO DE CARACTERIZACIÓN	VARIABLE
Física	% Humedad
	Densidad aparente
	Densidad básica
Química	Lignina %
	Holocelulosa
	% extraíbles
Energética	Poder calorífico
	% de Cenizas
	Celulosa

4.7 Tecnologías para el aprovechamiento de residuos de madera

Los residuos de madera son un valioso recurso que se genera en grandes cantidades y que puede reutilizarse como materia prima para otros productos o para generar energía dependiendo del grado de calidad. Los crecientes costos en la eliminación de estos residuos y la conciencia ambiental hacen que el reciclaje de residuos de madera sea cada vez más importante. Según Escudero (2015) y Zárate (2016) es posible obtener alcohol etílico mediante el proceso de sacarificación y destilación de la madera. También se logra obtener metanol, fural y fenoles, que posteriormente pueden ser utilizados en la industria farmacéutica y en la preparación de resinas sintéticas.

El uso de residuos como combustible directo es tradicional debido al poder calórico de la madera (Cabrera Drouet, 2016). Particularmente se ha observado que las Latifolias tropicales presentan un poder calórico superior a los 4770 Kcal/ cal (Padilla et al., 2000). Viera & Ayala (2006) y Delgado (2016), indican que se han elaborado elementos con residuos de madera como aglutinados con cemento, los cuales poseen una gran versatilidad en su utilización, fácil manipulación y alta resistencia a golpes y ataques de hongos e insectos.

Otros estudios han demostrado que los residuos de madera cuestan tres veces menos que la madera en rollo y que pueden suplir toda la madera que hasta ahora se utiliza en la industria de aglomerado (Smith, 2013; Ceballos & Daza, 2013).

Conociendo las alternativas que existen en el mercado para el aprovechamiento de madera en esta investigación se analizan tres alternativas: aprovechamiento energético, elaboración de pélets y aglomerados. Además se contó con la disponibilidad de una planta de gasificación de lecho fijo y una peletizadora adquirida por el proyecto de energía renovable ejecutado por la Universidad del Chocó UTCH, lo que facilitó la investigación.

4.8 Aprovechamiento energético

El aprovechamiento energético de la biomasa aparece como una gran oportunidad para reducir la dependencia energética exterior. Recientemente se han llevado a cabo en muchos países investigaciones que demuestran el potencial energético de la biomasa residual, con diversas experiencias y con distintas tecnologías que arrojan información sobre los beneficios ambientales y sociales que ofrece un aprovechamiento de estos residuos (Dopazo Amoedo & Vega Nieva, 2009).

La transformación de la biomasa en energía, también llamada bioenergía, comprende un amplio y diverso grupo de fuentes biomásicas, procesos de transformación y requerimientos de infraestructura de acuerdo al uso final que se desee dar a la energía. La biomasa puede ser transformada en formas útiles de energía usando diferentes procesos. Los principales factores que influyen en la decisión a la hora de escoger el tipo de proceso son el tipo y cantidad de recursos biomásicos disponibles, el uso final que se desea obtener de la energía, las limitaciones ambientales que puedan ser impuestas a este tipo de proyectos, las condiciones económicas y los requerimientos específicos de estos proyectos (Ureña, 2009).

Para el aprovechamiento energético de la biomasa, una de las tecnologías más empleadas es la transformación termoquímica, la cual engloba cuatro subprocesos (ver la figura 5): combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción. El proceso de licuefacción es rara vez usado en el aprovechamiento energético de la biomasa (McKendry, 2002). Cabe mencionar que estas reacciones son endotérmicas, salvo el caso de la reacción de pirólisis. La biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo C_nH_m , y presencia de CO_2 , CO y H_2) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa.

En general, el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre 3000 y 3500 kcal/kg para los residuos ligno-celulósicos y entre 2000 y 2500 kcal/kg para los residuos urbanos. Además el bajo contenido de azufre de la biomasa la convierte en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente. En la figura 5 se puede observar la ruta definida para el aprovechamiento de la biomasa residual. La línea de color naranja es la escogida para analizar dadas las características del material existente en el área de estudio que corresponde al aprovechamiento de biomasa seca. El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice en un rango de 70-80%, este proceso cuenta con dos tipos de tecnologías:

- La de lecho móvil que, a su vez, se subdivide dependiendo del sentido relativo de las corrientes de combustible (biomasa) y agente gasificante. Cuando las corrientes son paralelas, el gasificador se denomina “*downdraft*” o de corrientes paralelas; cuando circulan en sentido opuesto, se denomina “*updraft*” o de contracorriente. Esta de gran interés para la investigación ya que se cuenta con una planta en las instalaciones de la Universidad Tecnológica del Chocó, lo cual facilitaría la investigación figura 18.

- La de lecho fluidizado, en la que el agente gasificante mantiene en suspensión a un inerte y al combustible, hasta que las partículas de éste se gasifican y convierten en cenizas volátiles y son arrastradas por la corriente del syngas.

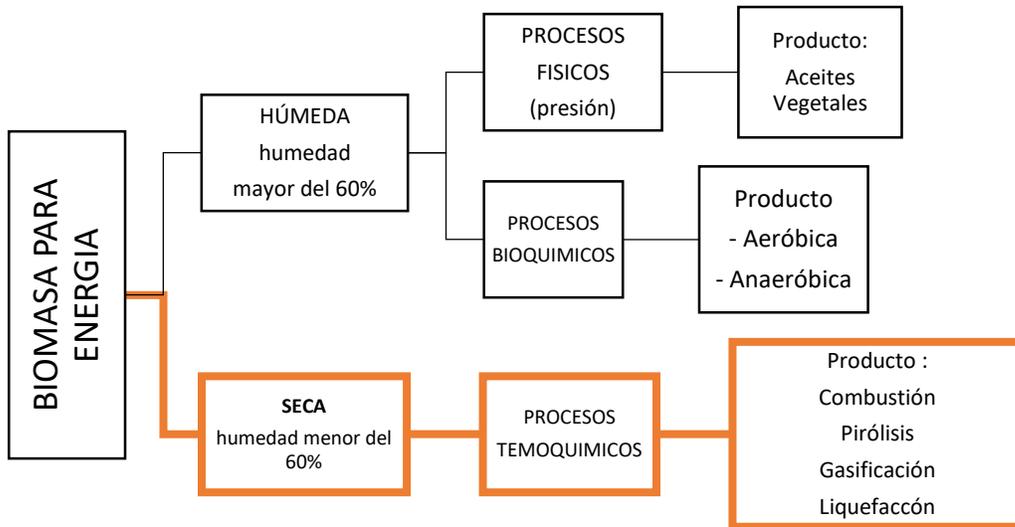


Figura 5 Generación de energía con biomasa residual (gasificación) (tomado de Energías Renovables, C. 2008.)

Los Agentes gasificantes Según el agente gasificante que se emplee se producen efectos distintos en la gasificación, y el syngas —producto final— varía en su composición y poder calorífico:

- **Aire**, parte de la biomasa procesada se quema con el oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre la reducción. No obstante, el 50% del syngas es nitrógeno y, en términos de poder calorífico, el gas ronda los 5,5 MJ/Nm³. Este syngas es apropiado para motores de combustión interna convencionales, ya que como materia prima para la síntesis del metanol es un gas pobre.
- **Vapor de agua u Oxígeno**, mejoran el rendimiento global y aumenta la proporción de hidrógeno en el syngas. Es el sistema más adecuado de producir syngas si se desea emplearlo como materia prima para producir metanol o gasolina sintética. Si bien el aire es gratuito y el vapor de agua se produce a partir del calor contenido en el gas de síntesis, el oxígeno tiene un coste energético y económico a tener en cuenta.
- Y **Hidrógeno** como agente gasificante permite obtener un syngas que puede sustituir al gas natural, pues puede alcanzar un poder calorífico de 30 MJ/kg (no es muy recomendable como gasificante en el ámbito industrial, excepto en los casos de excedentes de baja pureza)

4.9 Densificación y compactación de la biomasa

La densificación consiste en reducir el volumen del material mediante sistemas de compactación. En este proceso existen dos alternativas, el pelletizado y el briquetado.

4.9.1 Elaboración de pélets

Los pélets son principalmente pequeños cilindros sólidos que se diferencian exclusivamente por sus dimensiones (diámetro entre 6 y 12 mm y longitudes de 10 a 30 mm). Los pélets pueden ser elaborados con distinto tipos de material, pero debido a sus dimensiones se elaboran hoy en día a partir de residuos de madera, a tal punto que países como Suecia, Canadá y Estados Unidos producen más de un millón de toneladas por año (M. Peksa-Blanchard, et al., 2007).

Los pellets derivados de residuos de madera (ver figura 6) se utilizan para producir energía eléctrica, para el calentamiento residencial y para combustión directa en la cocción de alimentos (Vinterbäck, 2002). Es así como en la actualidad representan una industria creciente que satisface más de 7.5 billones de toneladas por año (Cocchi, 2011). Para garantizar la calidad de los pellets que actualmente son comercializados existen diversas normas, dependiendo del país en el cual se desea emplear el producto (Önorm M7135, la PVA, SS187120, DIN51731).



Figura 6 Elaboración de Pélets (fuente propia).

Debido a las ventajas que ofrecen los pélets (facilidad de almacenamiento, transporte y durabilidad) Esta industria he presentado un crecimiento exponencial durante los últimos

años. El proceso de producción de pélets se basa en una serie de etapas: 1) molienda para obtener material de igual tamaño de partícula, 2) secado del material, el tercer paso es opcional según el proceso 3) humedecimiento (el material se humedece con la lignina que suelta el material o con algún aglutinante según se requiera) y prensado en una máquina peletizadora, figura 17 y 4) tratamiento térmico para aumentar la dureza del sólido (Cocchi, 2011; Núñez, 2012), sin necesidad de utilizar adhesivos (Marcos & Núñez, 2006). La combustión de los pélets es más amigable con el ambiente debido a que reduce las emanaciones de CO₂ en un 50% comparado con la combustión de leña o astillas, posee bajas concentraciones de azufre y nitrógeno (entre 0.004 y 0.007 % y entre 0.05 y 0.16 %) (Rojas, 2004). Los pélets disminuyen las concentraciones de CO₂, SO_x y NO_x causantes de “efecto invernadero” (Soto & Núñez, 2008) ya que se reduce la utilización de combustibles fósiles, los cuales emiten más contaminantes que los pélets. Además al alargar la vida útil del producto evita rápidas emisiones a la atmósfera y evita la presión sobre el medio ambiente y los bosques.

Entre las ventajas de los pélets de madera se cuentan (Concepción, 2016):

- Combustible estandarizado (diámetro, largo, PCI, humedad, cenizas).
- Bajo contenido de humedad (6-10%).
- Propiedades superiores a la materia prima.
- Alta densidad energética (3,2MWh/m³), bajo necesidades de almacenamiento.
- Transporte y almacenaje fácil, limpio y seguro.
- Alimentación automática, comportamiento similar a un fluido.
- Combustible limpio y competitivo en comparación a productos fósiles (GN, GL, diésel, parafina).
- Neutro en CO₂.

Dentro de las propiedades de los pellets encontramos que este producto presenta las siguientes características:

- Diámetro (mm): 6.05 - 6.39
- Longitud (mm): 5.59 - 45.85
- Poder calorífico:
 - Kcal/kg. 4800
 - MJ/kg. 19.23
 - Kwh. 5.34
- Contenido de cenizas (%): < 0.4
- Humedad (%) “DIN 3841452” : < 10

Relaciones entre pellets y otros combustibles

- a) 1 ton de pellets ~ 500 litros de Fuel Oil.
- b) 1 kg. de pellets ~ 0.5 m³ de Gas Natural
- c) 1 kg de pellets ~ 0.8 lt GLP

4.9.2 Briquetado:

Es un proceso que compacta y conforma un material molido (fino) y seco para producir “briquetas”. De esta forma se obtiene un producto similar a la leña pero de dimensiones más uniformes, alta densidad y baja humedad. Su producción consume entre 30 y 50 kWh /tMS. Las briquetas se pueden fabricar con cualquier biomasa residual molida y seca (a menos del 12% de humedad),

Ventajas del producto

- Mayor poder calorífico que la leña
- Fácil y rápido encendido
- Baja humedad
- Alta densidad
- Ocupa menos espacio
- Limpias
- Homogéneas
- Fácil manipulación
- Sin olores, humos ni chispas
- Sin aglutinantes ni aditivos
- Menor porcentaje de cenizas
- 100 % ecológicas y naturales

Este novedoso producto se utiliza para proporcionar calor en las estufas, así como para cocinar. Además de su uso doméstico, se pueden crear entre un grupo de personas en cooperativa, y ser una fuente de ingresos para la comunidad, ya que se venden muy bien.

4.10 Elaboración de aglomerados

La industria de los aglomerados tiene la capacidad de usar cualquier residuo de especie maderable, además de otros materiales lignocelulósicos no maderables, aprovechando de manera integral los recursos del bosque. Tiene una gran capacidad de abastecerse de materia prima proveniente de maderas o especies extraídas del bosque natural o de los residuos generados en el proceso de transformación de la madera (Celano & Jacobo, 2004). Los aglomerados comprenden una amplia gama de productos laminados compuestos principalmente por elementos de madera y que se mantienen unidos por acción de un adhesivo (Spavento, 2012). La manufactura de estos productos incluye varios procesos largos y complejos (ver la figura 7). Dentro de los procesos para la elaboración de aglomerados podemos nombrar los siguientes (Gaitán, 2016):

- **Limpieza:** los residuos de madera pasan por un sistema de limpieza compuesto por una serie de cribas, las cuales separan la madera de la tierra, arenas, metales etc.
- **Secado:** luego de limpiar los restos de madera se pasan por un proceso de secado con una fuerte corriente de aire generada por grandes ventiladores dentro de un tambor

giratorio, al cual se le aplica una temperatura del orden de 110 °C de salida, por medio de un quemador.

- **Clasificado:** los residuos secos se reclasifican, almacenándolos en silos. En este proceso sale un tipo de polvo que no sirve para la fabricación, el cual se almacena y luego se quema.
- **Encolado:** una vez clasificado el material, pasa a ser impregnado con cola en las encoladoras. Esta operación se realiza por separado, la viruta por un lado y los aserrines por otro en las proporciones adecuadas. el encolado se realiza pulverizando la cola dentro de las encoladoras al paso del material por estas. Se utilizan diferentes tipos de colas.
- **Almacenamiento de la viruta y el aserrín en los silos correspondientes:** estos materiales pasan a las formadoras, que por medio de cribas de diferentes calibres o por rodillos moldeadores van depositando en una banda el producto, consiguiendo una mezcla denominada manta que consta de viruta en la parte central del tablero (llamada alma) entre capas de aserrín muy fino y grueso.
- **Prepensado:** luego de estar formada la manta, todo esto en proceso continuo, se produce al pre-prensado en frío, con una presión inferior a la que tendrá el prensado. Este proceso se realiza para que cuando la manta entre en la prensa no se deteriore y puedan llevar más velocidad las bandas que la transportan (temperatura de unos 200 °C.)
- **Prensado:** después del pre-prensado, seguidamente se produce el prensado, aplicando a la manta del tablero una presión progresiva hasta alcanzar el calibre deseado del tablero a fabricar, dependiendo del calibre del tablero la velocidad de prensado varia, a más calibre menos velocidad.
- **Enfriado:** a la salida de la prensa y una vez cortados los tableros se depositan en los volteadores, elementos que sirven para que los tableros se enfríen antes de ser apilados en paquetes.
- **Calibrado y corte a medida:** los tableros pasan posteriormente a ser lijados.

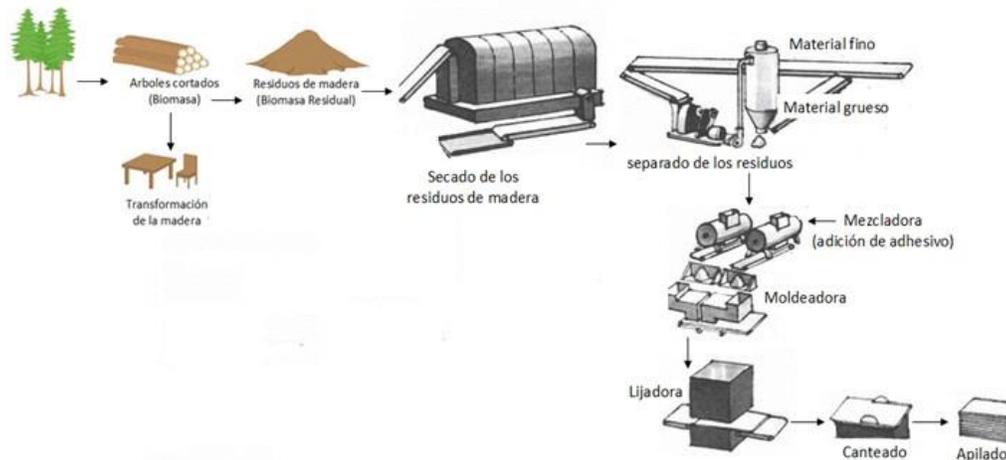


Figura 7 Esquema del proceso de elaboración de Aglomerado (fuente propia).

Los aglomerados son láminas que se utilizan para embalajes de maquinaria, para elaborar módulos para oficinas y viviendas y para pisos de viviendas, lo cual representa un gran mercado a tener en cuenta.

Sin embargo, debido a la complejidad para la elaboración de estos aglomerados laminados, a la alta humedad que se presenta en la región del Chocó (84%, que hace que el material se deteriore), a los costos que demanda la maquinaria necesaria para este proceso y a la precariedad de la región en cuanto a vías para la fácil comercialización del producto, esta tecnología de aprovechamiento se descarta, ya que lo que se busca con el presente proyecto es dar una alternativa viable no solo económica, sino también social y ambiental al aprovechamiento de estos residuos biomásicos (la implementación de esta tecnología implicaría un aumento en los gastos y una utilización de más recursos). La principal desventaja de la elaboración de los aglomerados consiste en el mayor número de procesos e insumos requeridos, como se puede observar en la figura 8.

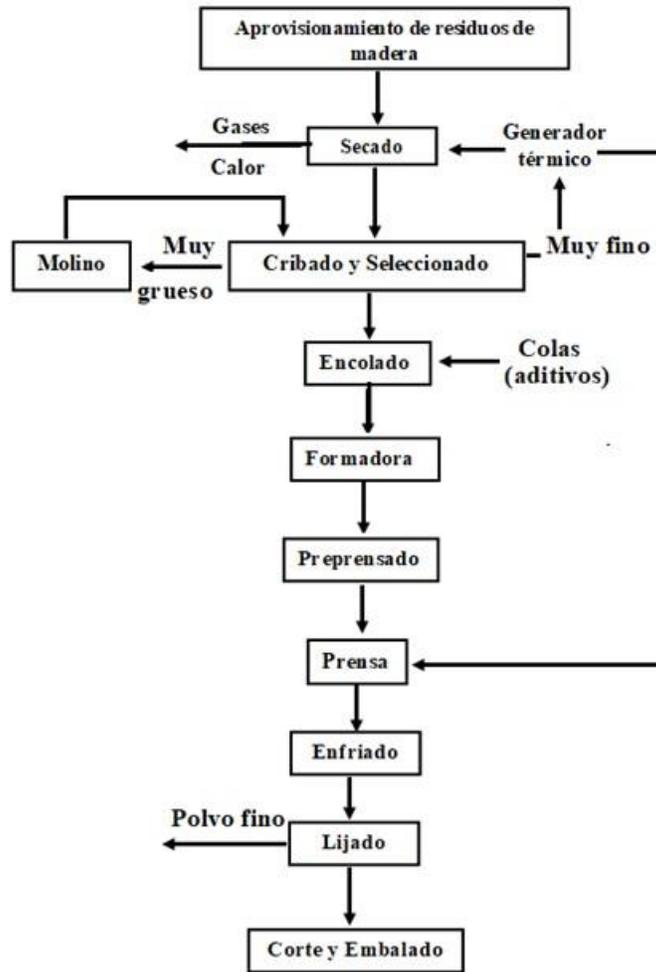


Figura 8 Inventario de entradas y salidas de la elaboración de aglomerados (modificado de González, A. F. 2011).

Como se puede observar en la anterior figura, la elaboración de los aglomerados implica un mayor gasto de insumos y de energía, lo que iría en contravía del propósito de no generar más impacto del ya causado por la extracción de madera.

4.11 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El ACV (o LCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta que evalúa los potenciales impactos ambientales y los recursos utilizados durante el ciclo de vida de un producto, es decir, desde la adquisición de materia prima, pasando por las fases de producción y uso, hasta la gestión de residuos (Olivera et al., 2016; ISO, 2006). La fase de gestión de residuos incluye la eliminación y el reciclaje. El término “producto” incluye bienes y servicios. El ACV es una evaluación integral y considera todos los atributos o aspectos del entorno natural, la salud humana y los recursos (Koroneos, C. J., & Nanaki, E. A. 2012). Históricamente el ACV parte de la premisa fundamental de disminuir el consumo de recursos y, por lo tanto, la cantidad de emisiones al ambiente (Abelleira Sánchez, 2011). Hoy en día este análisis evalúa la

sostenibilidad de un producto o de tecnologías, y normalmente se considera que abarca los impactos en tres dimensiones: social, ambiental y económica.

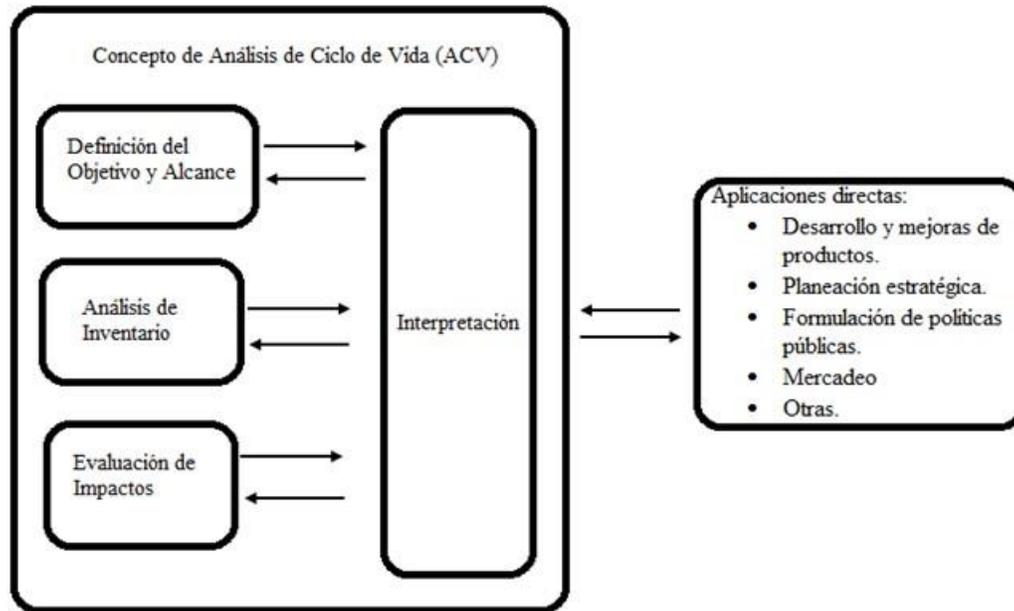


Figura 9 Fases del análisis de ciclo de vida (fuente: ISO 14001).

Los impactos se calculan bajo las condiciones del entorno y representan la suma de los impactos de las emisiones pasadas, actuales y futuras. Además, estos impactos afectan a diferentes ecosistemas en diferentes partes del mundo. El ACV no es un sustituto de la evaluación de riesgos ambientales, ni genera resultados de emisiones fuera del sistema, pero sí refleja las contribuciones potenciales a los impactos reales o riesgos pendientes sobre la relevancia y validez de las condiciones de referencia asumidas en los modelos subyacentes (Finnveden et al. 2009). El ACV cubre diversos impactos ambientales y puede incluir una comparación entre categorías de impacto.

Por otra parte, el inventario de datos o LCI requiere una gran cantidad de información. La búsqueda, organización y análisis de los datos de inventario pueden ser muy laboriosos en un ACV (Suppen & Van Hoof, 2007). Esto a menudo es un desafío debido a la falta de datos apropiados para el sistema de productos en estudio. Para facilitar este proceso en la fase del LCI y evitar la repetición de datos, se elaboró una tabla donde se organizó el inventario de entradas y salidas del sistema con datos como el tipo de vehículo utilizado, distancia, tipo de maquinaria, entre otros necesarios para el análisis, como se puede observar en el Anexo 4 y con ayuda de las bases de datos que ofrece el software LCA, la cual contiene información sobre materias primas, generación de electricidad, procesos de transporte y servicios de desechos, así como productos a veces complejos. Con ellos se elaboró este análisis como se puede observar en el Anexo 5, donde se observa el ingreso de la información al programa, la corrida de éste y alguno de los resultados. Este programa utiliza las bases de datos SPINE

@ CPM, Swiss Ecoinvent, NREL de EE, la European Reference Life Cycle Database (ELCD) entre muchas otras (Ecoinvent, 2007).

El ACV, realizado adecuadamente y siguiendo los procedimientos estipulados en la serie de normas ISO14040, se convierte en una herramienta que brinda bases sólidas a una organización para tomar decisiones técnicas adecuadas sobre un producto, sobre la modificación de productos existentes o sobre una tecnología a aplicar, en términos de eficiencia en cuanto a su desempeño ambiental, mientras sigan cumpliendo igualmente la función para la que fueron programados (Rodríguez, 2003).

Este método fue empleado por Moscoso, T. N. et al (2016) en sus evaluaciones donde indican los antes citados que: la combustión directa de la biomasa emite aproximadamente 32.700 [kg CO₂eq] para la pirolisis, y 29.600 [kg CO₂ eq] para la gasificación, y Coy, J. L., et al (2015) indica que el ACV permite obtener información relevante acerca de las cargas ambientales presentes en cada etapas involucradas y su contribuciones a las cargas de impacto. Sumado esto indica este último que el ACV permite avanzar en la estimación de la reducción de los gases de efectos invernaderos, generados por el uso de biomasa.

4.11.1 Emisiones de gases de efecto invernadero.

En el documento European Commission (2010) se destacan los ahorros en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero que se obtienen al reemplazar combustibles fósiles y hacer un adecuado aprovechamiento de la biomasa. El balance en cuanto a gases de efecto invernadero de los sistemas de biomasa, utilizando análisis de ciclo de vida, difiere dependiendo del tipo de materia prima, variaciones en el stock de carbono debidas al cambio de uso de la tierra, transporte, procesamiento de las materias primas y tecnologías de conversión para producir calor y electricidad.

El documento citado indica que: las aplicaciones energéticas de los tipos más comunes de biomasa reducen las emisiones de CO₂ entre un 55 % y un 98 % en comparación con los combustibles fósiles, aunque haya que transportar la materia prima a larga distancia, siempre y cuando no se cambie el uso de la tierra. Cuando se usan residuos forestales o agrícolas, los ahorros en gases de efecto invernadero están normalmente por encima del 80% en comparación con los combustibles fósiles (Romero Romero, et al, 2017).

IDAE, (2010) en su programa Biomcasa comparan emisiones procedentes de biomasa con emisiones procedentes de gasóleo y de gas natural, en esta informan que: en cuanto a CO las emisiones procedentes de la biomasa son menores que las procedentes del gasóleo y del gas natural; en cuanto a SO₂ las emisiones procedentes de la biomasa son menores que las procedentes del gasóleo pero mayores que las procedentes del gas; en cuanto a partículas (PM).

Otra comparación de contribuciones al calentamiento global es la que hace Moscoso, T. N. J. et al, (2016) en su estudio de ACV en el cual empleo el programa GaBi, donde señala que las emisiones del aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos emiten 32.700 [kg CO₂eq] para la pirolisis y 29.600 [kg CO₂ eq] para la gasificación, considerando que estas procesos son igualmente atractivas ambientalmente y que a tecnología más intensiva en emisiones de CO₂ equivalente es la combustión directa, seguida por la pelletización, la pirolisis de virutas y la gasificación de virutas. Además, señala que la alternativa más interesante, considerando la potencia neta generada, es la pelletización.

Tabla 3 Potencial de Calentamiento Global para cada alternativa,

Tecnología	PCG Escenario 1 [kg CO₂eq]	PCG Escenario 2 [kg CO₂eq]
Combustión directa	210.682	210.677
Pelletización	181.424	181.417
Pirólisis	32.701	32.696
Gasificación	29.635	29.630

Fuente: Moscoso, T. N. J. et al, (2016)

PCG. Potencial de calentamiento global

Como indica Moscoso, T. N. J. et al, (2016) y se puede observar en la tabla 3, las tecnologías presentan un significativo Potencial de Calentamiento Global y los porcentajes o diferencias entre ellas son bajos. Los escenarios evaluados indican las diferencias entre ellos y brinda la oportunidad de determinar que tipo de tecnología que se debe emplear para aprovechar la biomasa residual, cual es la más eficiente y menos contaminante.

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de estudio

El presente estudio se realizó en dos municipios del departamento del Chocó, en su capital Quibdó situada geográficamente entre las coordenadas 5°41'32"N 76°39'29"O, con una extensión de 3338 km² y con una población de 126384 según último censo del DANE y en el municipio de Riosucio, situado entre las coordenadas y 7°26'19"N 77°06'48"O con una extensión de 5818 km² y una población de 28832. Caracterizados por presentar temperatura promedio de 27°C, precipitación media de 9.000 mm anuales (figura 10).



Figura 10 Ubicación del Área de estudio, municipio de Quibdó y Riosucio en el departamento del Chocó (Colombia) (fuente propia).

Entre las actividades económicas desarrolladas en esta zona del departamento sobresalen la explotación minera y maderera, la agricultura de pan coger y muy poco la pesca (Mosquera-Andrade et al., 2011).

La investigación consistió en trabajo de campo (levantamiento de encuestas, entrevistas, toma de muestras, registro fotográfico y cuantificación del volumen de los residuos de madera). El trabajo se realizó en cuatro fases, las cuales se describen en la figura 12.

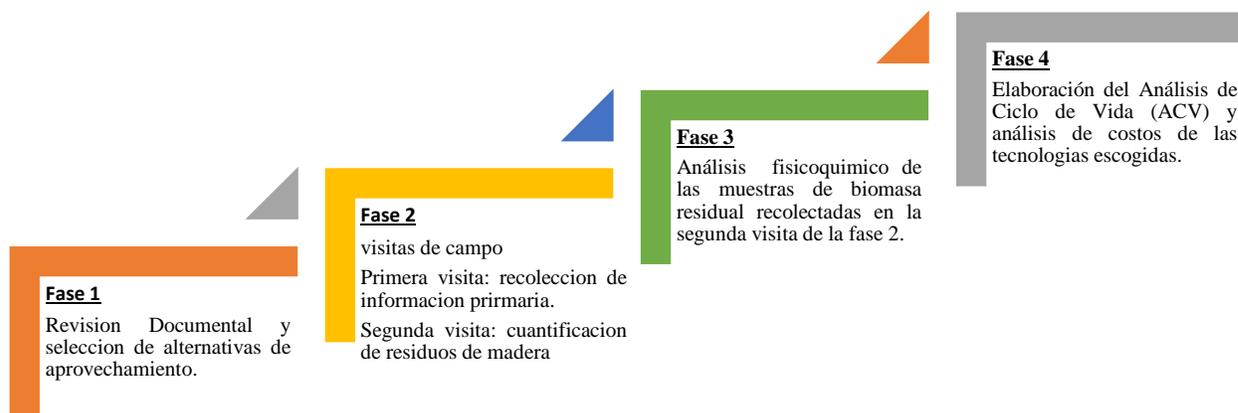


Figura 11 Esquema de la metodología empleada (fuente propia).

5.2 Primera fase

Esta fase consistió en la recopilación de información relacionada con el aprovechamiento de los residuos de madera y de las tecnologías que se pueden aplicar para recuperar este residuo. Se enfatizó en la generación de energía, material aglomerado y pélets, también se investigó sobre las propiedades fisicoquímicas, costos de las tecnologías y sus beneficios ambientales y sociales. Se revisaron base de datos como: Acces, Engineering, ASME, ASTM, IEEE, Scielo, Science, Direct, Scopus entre otras. También investigaciones realizadas en este tema en otros países como España, India, Estados Unidos, Canadá y Brasil, lo que permitió tener un amplio conocimiento sobre la forma de aprovechar sustentablemente este recurso biomásico.

5.3 Segunda fase

5.3.1 Primera visita

Correspondió a la recolección de información primaria en dos salidas de campo por cada municipio. La primera salida consistió en: reconocimiento del área de estudio, encuesta a empresas encargadas de transformar la madera para conocer los datos del dueño o representante legal, ubicación (georreferenciación) y mapeo de las empresas, y por último toma muestras de la biomasa residual, las cuales se enviaron a analizar en el laboratorio certificado de la Universidad Nacional – Sede Medellín. Sobre la biomasa residual se hicieron tres análisis: último y próximo (Martínez Lozano, 2009), los cuales determinaron la cantidad de humedad, carbono fijo, cenizas, carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S), además de la densidad aparente y real y los sólidos totales. Para estos análisis se tuvo en cuenta las normas de la American Society for Testing Materials (ASTM) (ASTM 2009^a; ASTM2012^a; ASTM,2012b).

5.3.2 segunda visita

Esta visita consistió en la cuantificación de la biomasa residual generada por las ebanisterías y aserraderos en los municipios de Quibdó y Riosucio, mediante toma directa de datos, con fines de aprovechamiento. Se calculó el volumen de biomasa generada (fracción de biomasa que no se aprovecha en los procesos), utilizando la ecuación empleada por Ortiz et al. (2016), en la cual indican que la madera obtenida por troza se cubica, posteriormente cada tabla se mide al milímetro para conocer su volumen real mediante la expresión:

$$VBR_a = VMR - VMA \quad (6)$$

Donde:

VMR = Volumen de madera que ingresa.

VMA = Volumen de madera aserrada que se produce m³/año.

VBRa = Biomasa residual actual.

Estos datos permiten calcular la fracción de madera residual, es decir, la biomasa potencialmente aprovechable para la producción de energía, material aglomerado y pélets. La Fracción de Biomasa Residual se expresa como.

$$FBR = \frac{VBRa}{VMR} \quad (7)$$

La estimación del volumen de biomasa potencial (VBRp) para cada aserradero es expresada como:

$$VBRp = CI \times FBR \quad (8)$$

Donde:

VBRp = Volumen de biomasa potencial

CI = Capacidad Instalada

FBR está relacionada con las características de la madera que se procesa. Para el cálculo y posterior análisis de VBRp es necesario discriminar los datos en función del origen de la materia prima, es decir del lugar donde se extrae (bosque o plantaciones forestales) (Smith & Bracho, 2011). Para calcular el volumen de biomasa almacenada durante largo tiempo en un área determinada, el cual depende de la densidad, de la topografía y de las condiciones del terreno, se utilizó el cálculo de área irregulares, esto dado que los aserraderos arrojan estos residuos a la orilla del río Atrato, donde la topografía del terreno es irregular.

5.4 Tercera fase

Esta fase correspondió al análisis de las muestras de biomasa residual recolectadas en la primera visita de la fase dos. Las muestras fueron recolectadas y analizadas bajo las normas ASTM D7459-08 y ASTM D2234-00 para muestreo. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Ciencias de la Energía de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, donde se realizaron los análisis último, próximo teniendo en cuenta las normas establecidas (Becerra, 2008), para determinar la cantidad de Hidrogeno (H), Carbono (C), Nitrógeno (N), Azufre (S) y Oxígeno (O), esto bajo los estándares de la normas ASTM D388- 12, ASTM 3172-89, y del poder calorífico (ASTMD-58665-04, 2013), contenido de humedad (ASTM D 3173-87), contenido de ceniza (ASTM 3172-89), carbono fijo, densidad y material volátil (ASTM D 3175-89) (Puratich, 2012).

5.5 Cuarta fase

Esta última fase correspondió al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de las tecnologías de aprovechamiento de la biomasa residual. Este análisis se hizo al final porque era necesario conocer la cantidad y características fisicoquímicas de los residuos generados, además de los procesos requeridos en cada tecnología seleccionada (energía y pélets). El análisis para la elaboración de aglomerados no se efectuó debido a la cantidad de procesos y de insumos que se requieren para esta tecnología de aprovechamiento como se explicó en la sección 4.10. además cabe resaltar que lo que se busca con esta investigación es brindar una alternativa

que permita recuperar estos residuos y brindar alternativas de solución de problemáticas a comunidades rurales como Riosucio.

La metodología de diseño de producto/procesos basados en el ACV permite contemplar múltiples alternativas tecnológicas para elaborar un producto o un proceso con el fin de seleccionar la mejor alternativa económica y ambientalmente viable basada en varios procesos críticos. El ACV para estas dos tecnologías escogidas se inició desde la recolección de los residuos generados en las ebanisterías y aserraderos hasta la generación de energía, por un lado, y la elaboración de pélets por el otro. Para el ACV Se utilizó como guía el procedimiento de cuatro fases establecido en la norma NTC ISO 14040 y 14044, además del software OpenLCA versión 1.6 y los métodos de impacto de Ecoinvent versión 3.3 (método de impacto IPCC 2013 –GWP 20 y 100). La metodología para llevar a cabo el ACV comprende cuatro fases, según los pasos establecidos en la ISO 14040 como se muestra en la figura 10.

El ACV comprende cuatro fases: 1) definición de objetivo y alcance, 2) análisis de inventario de ciclo de vida (LCI), 3) evaluación de impacto del ciclo de vida (LCIA), y 4) interpretación. La fase de Definición del Objetivo y el Alcance incluye las razones para llevar a cabo el estudio, la aplicación prevista y a quien va dirigido. En esta fase se describen los límites del sistema del estudio y se define la unidad funcional, que es una medida cuantitativa de las funciones que proporcionan los bienes (o servicios). La fase de LCI es una recopilación de las entradas (recursos) y las salidas (emisiones) del producto a lo largo de su ciclo en relación con la unidad funcional. La fase de LCIA comprende y evalúa la magnitud y la importancia de los posibles impactos ambientales del sistema estudiado. En última fase de Interpretación se evalúan los resultados de las fases anteriores en relación con el objetivo y el alcance para llegar a conclusiones y recomendaciones (Finnveden, et al., 2009).

Como base para comparar y analizar los datos en los sistemas creados, se debe definir la unidad funcional, que es una medida cuantitativa de la función del sistema, es decir, de las entradas y salidas de productos o servicios que el sistema entrega al ambiente. En el análisis se incluyen también las descargas ambientales asociadas al suministro de energía y elaboración de pélets, además de los materiales auxiliares que, aunque se consumen en las actividades primarias, no llegan a ser parte del sistema de nuestros productos. En la fase de análisis de inventario se ejecutan los balances de masas y energía y se cuantifican las descargas. Éstas se definen mediante el consumo de energía y las emisiones de CO² al aire y al agua así como los residuos sólidos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Localización de las empresas y puntos de acopio de la biomasa residual

Los residuos de biomasa (madera residual) se definieron en función de las industrias de la madera en el departamento del Chocó, específicamente las ubicadas en los municipios de Quibdó y Riosucio. Para tal fin se tuvo en cuenta los procesos para la generación del residuo

biomásicos (corteza, aserrín, virutas y recortes) y el número de empresas que lo generan (figura 12).



Figura 12 Esquema de generación de residuos de biomasa (fuente Propia).

El estudio de localización de las industrias o fuentes generadoras de residuos biomásicos arrojó un total de 109 empresas o establecimientos de transformación primaria y secundaria de la madera en los dos municipios, 95 en Quibdó (14 aserraderos, 80 ebanisterías y un expendio) y 14 en Riosucio (cuatro aserríos y 10 ebanisterías), los cuales fueron georeferenciados para ver su distribución en las áreas de estudio, como se puede ver en la figura 13 (fuentes de biomasa residual en el municipio de Quibdó) y en la figura 14 (fuentes de biomasa residual en el municipio de Riosucio).

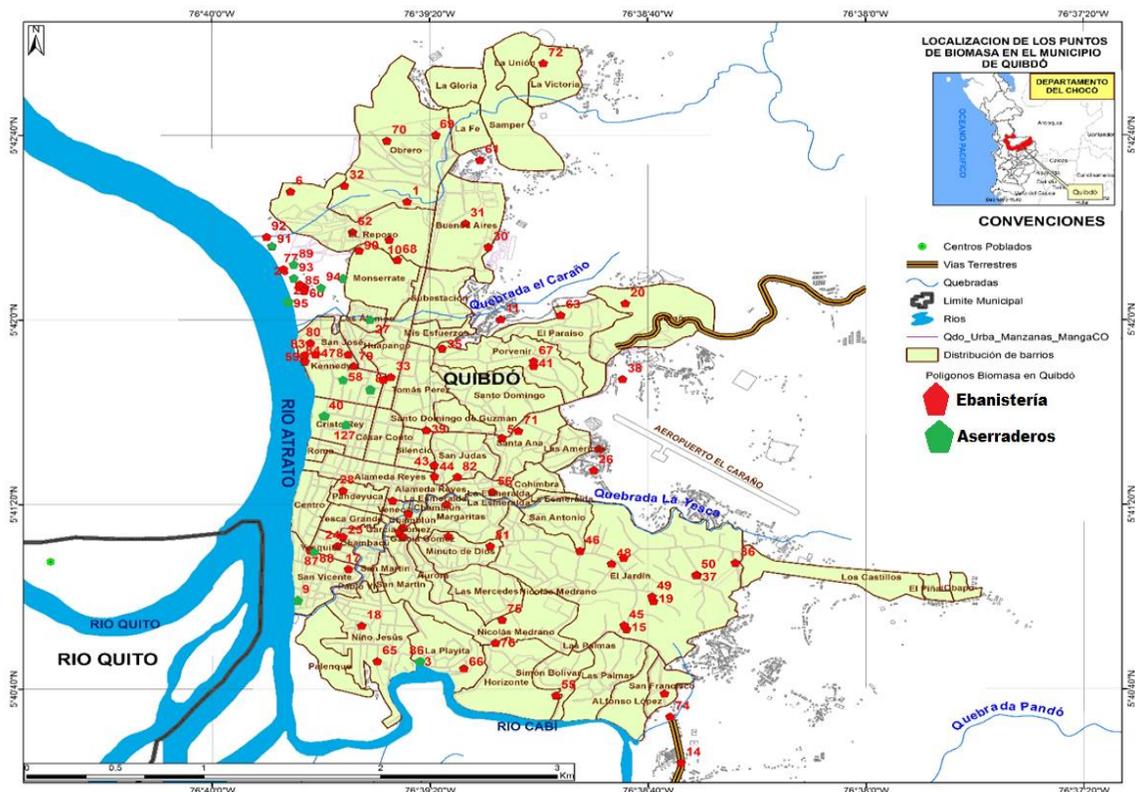


Figura 13 Fuentes generadoras de residuos de biomasa en el municipio de Quibdó (fuente: propia).

Los puntos verdes en las figuras 13 y 14 corresponden a los aserraderos y los puntos rojos a la ebanistería. Se debe indicar que en estas empresas de transformación de madera los procesos se realizan de forma artesanal, semi-industrial y en algunos casos de forma rudimentaria, condición que propicia la cantidad de residuos presentes. Además, las mismas empresas son utilizadas como punto de acopio del material residual, generando contaminación y un riesgo para los empleados, ya que reducen el área de trabajo.

Los aserraderos del municipio de Quibdó se caracterizan por estar ubicados en cercanías del río Atrato y al río Cabí, que son utilizados como vías de transporte de materia prima desde el lugar de extracción. Las ebanisterías por su parte se encuentran dispersas en toda el área urbana del municipio como estrategia para ofrecer sus servicios a toda la población.

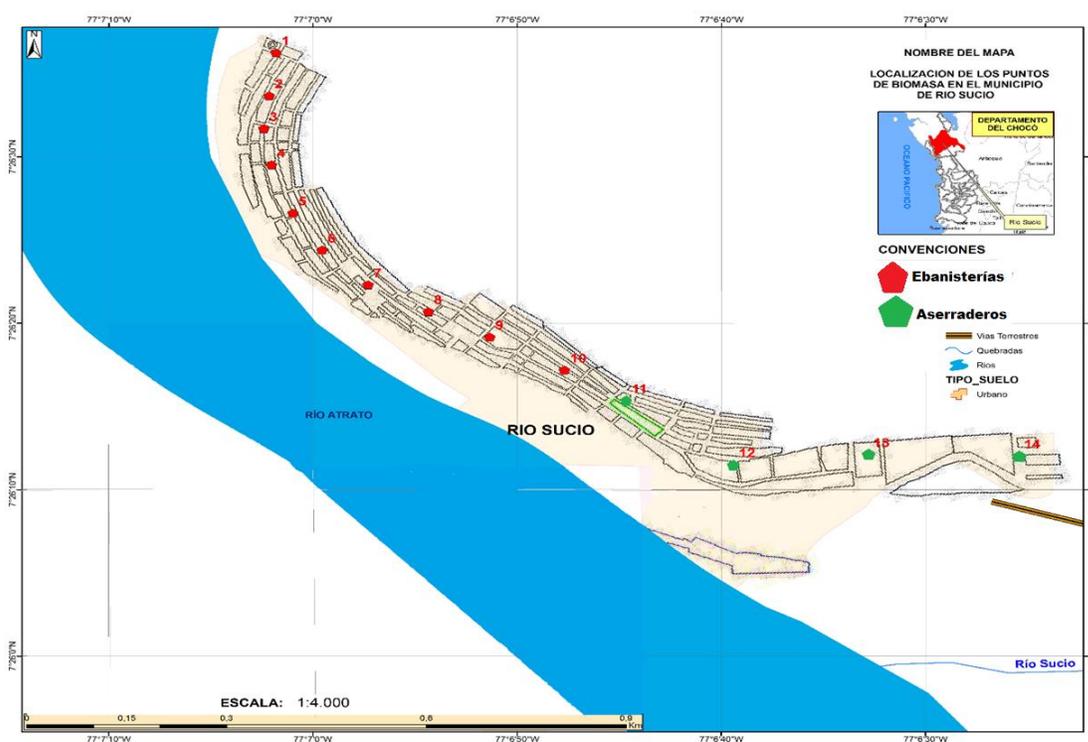


Figura 14 Fuentes generadoras de residuos de biomasa en el municipio de Riosucio (fuente propia).

En el municipio de Riosucio se identificaron cuatro aserraderos (puntos verdes) y 10 ebanisterías (puntos rojos) como se puede observar en la figura 14. A diferencia del municipio de Quibdó, las empresas no se encuentran ubicadas a orilla del río, ya que el bosque del que se extrae la madera está cercano al área urbana. También se pudo comprobar que la mayoría de los residuos de madera (corteza, hojas, ramas), luego del corte del árbol quedan en el bosque. Al igual que en Quibdó, las pocas ebanisterías y aserraderos emplean maquinaria en mal estado y los procesos son artesanales, semi-industriales y en algunos casos de forma rudimentaria propiciando un gran volumen de residuos en esta industria.

En esta Investigación también se pudo determinar la procedencia y destino final de la madera que se comercializa en el área de estudio. Como se muestra en la figura 15, la madera que se

extrae de los bosques del departamento del Chocó se comercializa principalmente en el departamento de Antioquia. Además la madera que sale es cubicada pero no es tratada (secada e inmunizada), y la mayoría de los residuos generados en la extracción de madera queda en el bosque.



Figura 15 Ruta de la madera en los municipios de Quibdó y Riosucio (fuente propia).

6.2 Disponibilidad de los residuos biomásicos en la zona

Una vez conocido el número de empresas transformadoras de madera en los dos municipios de estudio y las condiciones de la biomasa residual generada en los proceso de transformación y comercialización de la madera, se realizó la cuantificación de la biomasa residual generada por estas empresas. Cabe señalar que las ebanisterías transforman la materia prima proveniente de los aserraderos para generar productos terminados (muebles, artesanías y demás), lo que conlleva a establecer procesos de muestreo diversos en las ebanisterías y en los aserraderos.

Los aserraderos muestreados generaron en promedio 0.025 m³ de residuos por cada troza sometida a procesos de transformación. En las ebanisterías, dada su condición de transformación final, se obtuvo un valor promedio de 9.43 kg/día por establecimiento, que representan 754.57 kg/día de residuos, los cuales generan contaminación ambiental dado su incorrecta disposición final en ríos y predios baldíos. Una menor cantidad de estos residuos son aprovechados para elaborar compost o son empleados como colchón en proyectos avícolas. En las tablas 3 y 4 se indican los volúmenes de biomasa residual generada en estos dos municipios.

Tabla 4. Disponibilidad de biomasa residual de origen maderero en Quibdó

Establecimientos	Residuo Kg/mes	Residuos Kg/ año	Residuos Ton/año
Aserraderos	40 643.54	487 722.43	487.72
Ebanisterías	19 618.77	235 425.24	235.43
Total biomasa disponible en Quibdó		723 147.67	723.15

Tabla 5. Disponibilidad de biomasa residual de origen maderero en Riosucio

Establecimientos	Residuo Kg/mes	Residuos Kg/ año	Residuos Ton/año
Aserraderos	46 832.19	561 986.30	562.00
Ebanisterías	2 452.34	29 428.15	29.42
Total biomasa disponible en Riosucio		591 414.45	591.42

Con los datos arrojados en el proceso de cuantificación de estos residuos, se puede indicar que existe un recurso considerable a aprovechar en estos dos municipios. Residuos que pueden ser aprovechados para la generación de energía o la elaboración de pélets. Es importante indicar que ni en las ebanisterías ni en los aserraderos se realiza separación de residuos por especies. Teniendo en cuenta esto para la caracterización, se determinó tomar muestra de las tres especies maderables más empleadas y una cuarta muestra de la mezcla de estas especies.

6.3 Características fisicoquímicas de la biomasa residual generada

Las especies analizadas se indican en la tabla 5. En la tabla 6 se resumen los valores para los análisis último y próximo de las muestras de madera, realizados en el laboratorio de Ciencias de la Energía de la facultad de minas de la Universidad Nacional. Cabe resaltar que la cuarta muestra se debió a que las empresas en su proceso de transformación de la madera no realizan procesos de separar de residuos y que esta correspondió a una mezcla por partes iguales de las tres especies que se seleccionaron por ser las más empleadas por su importancia comercial.

Tabla 6. Nombre de especies forestales analizadas

Nombre Común	Familia Botánica	Nombre Científico
Lechero	<i>Moraceae</i>	<i>Brosimum utile (Hunth) Oken</i>
Guamillo	<i>Lecythidaceae</i>	<i>Inga sp</i>
Jigua	<i>Lauraceae</i>	<i>Ocotea cernua</i>
Mezcla		

Tabla 7. Análisis último y próximo de la biomasa residual seleccionada

Muestra	Análisis Ultimo (db)					Análisis Próximo (db)			M	Relación	HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)
	C	H	N	O	S	VM	FC	Ash				
Lechero	48.54	5.65	0.57	44.35	0.03	74.08	25.06	0.86	1.88	0.34	14202	13013
Guamillo	50.63	5.23	0.71	44.39	0.03	72.58	26.92	0.50	2.6	0.37	16454	15334
Jigua	49.10	5.65	0.64	44.54	0.05	81.46	17.64	0.89	1.55	0.22	14634	13452
Mezcla	51.57	5.73	0.53	43.32	0.03	85.41	14.02	0.57	2.99	0.16	16576	15345
Método	ASTM D5373		B.D.		ASTM D4239 Método A	ASTM D7582-15			FC/VM		ASTM D5865-13	Ecu. 6

Nota = M: humedad, VM: materia volátil, FC: carbono fijo, HHV: poder calorífico superior, LHV: poder calorífico inferior, B.D.: por diferencia, C: calculado, db: bases secas.

Como resultado de este análisis se obtuvo que la mezcla de estas especies presenta un gran rendimiento con fines energéticos, seguida del Guamillo. Como se pudo observar en la tabla 6, las muestras que presentan un mayor contenido de C son las que tienen mejor contenido energético. También se observa que las maderas de esta región tienen poco contenido de S y de N, además de presentar una baja humedad residual. Esta última es de gran interés para un posible aprovechamiento energético, ya que la humedad influye en las propiedades energéticas de la biomasa y puede llegar a afectar la conversión de energía total. Un contenido alto de humedad (> 30%) dificulta la ignición y reduce el poder calorífico de los productos gaseosos. Para la elaboración de pélets también es importante conocer estas características, ya que este material es utilizado para generar calor.

6.4 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

De acuerdo al quinto informe (AR5) del panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, se ha estimado que la proporción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociados a la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo es aproximadamente un cuarto del total de las emisiones antropogénicas de GEI (entre 10 y 12 Gt CO₂eq/año), provenientes

principalmente de la deforestación, emisiones del laboreo del suelo agrícola y fertilización, y la ganadería (IPCC, 2014). Sin embargo, se espera que estas emisiones se reduzcan debido a la disminución de la deforestación y a un incremento en la reforestación (Rosas, 2015).

Con la anterior premisa, el ACV de la presente investigación tuvo como objetivo identificar cuál de las dos tecnologías (elaboración de pélets y generación de energía) genera menor o mayor impacto en el ambiente, además de ayudar a determinar cuál genera una contribución significativa al desarrollo de la región. Desde estos dos puntos de vista se elaboraron los esquemas de cada alternativa y se ingresaron los datos de cada sistema al programa Open LCA v1.6, orientado a realizar análisis del ciclo de vida de un producto y de la huella de carbono y del agua, con la posibilidad de desarrollar, entre otras posibilidades, modelos económicos. Este programa dispone de una amplia base de datos, como la GaBi y Ecoinvent, esta última empleada en el presente proyecto.

El análisis inicia desde la recopilación de la información correspondiente a la recolección de los residuos, el transporte, la elaboración de pélets o la generación de energía. Se hace necesario indicar que la distancia recorrida fue de 7.2 km ida y vuelta hasta las instalaciones de la Universidad Tecnológica del Chocó “Diego Luis Córdoba”, en un carro marca Hyundai con una capacidad de 1 ton, el material se almacenó de forma manual y el secado del material fue al sol, durante un periodo de 8 horas durante dos días. Para los residuos tipo astillas y restos grandes de madera (trozos de aproximadamente 3.5cm a 9cm). Se empleó una chipeadora de marca Koyote (figura 16). Para la elaboración de los pélets se empleó una peletizadora de marca Maquimpro (figura 17) y finalmente para la producción de energía se utilizó una planta de gasificación comercial de lecho fijo *downdraft* de marca Power Pallet PP20 adaptada a un motor de combustión con capacidad de generar 25 KWh (figura 18).



Figura 16 Chipeadora Koyote (fuente propia, tomada en abril del 2017).



Figura 17 Peletizadora Maquimpro (fuente propia, tomada en mayo de 2017).



Figura 18 Gasificador Power Pallet PP20 (fuente propia, tomada marzo del 2017).

Inicialmente se hizo el ACV para la elaboración de pélets. Cabe indicar que para las dos tecnologías el proceso es similar como se indicó anteriormente (recolección, almacenamiento, secado, peletizado o energía). Los datos de entrada y salida del sistema se

describen en la tabla 7 para la elaboración de pélets y en la tabla 8 para la generación de energía.

Tabla 8. Datos de entrada y salida del sistema para la elaboración de pélets.

Datos de entrada al sistema por proceso		Salida del sistema por proceso
Proceso 1 (transporte)	vehículo	gas que emite el vehículo
	km recorrido (combustible)	biomasa recolectada
	Biomasa recolectada	
Proceso 2 (tratamiento de biomasa)	Biomasa recolectada	biomasa chipiada
	chipiadora	contaminantes generados por el uso de energía para chipiar y secar la biomasa
	energía para chipiar la biomasa	
	secado de biomasa	
Proceso 3 (elaboración de pélets)	biomasa chipiada	pélets
	peletizadora	contaminantes generados en la obtención de la energía

Cabe indicar que el inventario es la fase del ACV donde obtenemos datos y procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional y se define como la entrada o salida de materiales o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo. Para este caso fue 1m³ de biomasa generada diariamente en los aserraderos.

Tabla 9. Datos de entrada y salida del sistema para la generación de energía.

Datos de entrada al sistema por proceso		Salida del sistema por proceso
Proceso 1 (transporte)	vehículo	gas que emite el vehículo
	km recorrido (combustible)	biomasa recolectada
	Biomasa recolectada	
Proceso 2 (tratamiento de biomasa)	Biomasa recolectada	biomasa chipiada
	chipiadora	contaminantes generados en la obtención de la energía
	energía para chipiar la biomasa	
	secado de biomasa	
Proceso 3 (elaboración de pélets)	biomasa chipiada	pélets
	peletizadora	contaminantes generados en la obtención de la energía
	energía para peletizar	
Proceso 4 (generación de energía)	pélets o madera chipiada	energía de biomasa
	planta de lecho fijo para generar energía	

En la figura 19 y 20 se observar cómo se unen los procesos para la generación de energía y elaboración de pélets, lo cual permite conocer la sumatoria de contribución de cada uno de los procesos a la evaluación de los impactos.

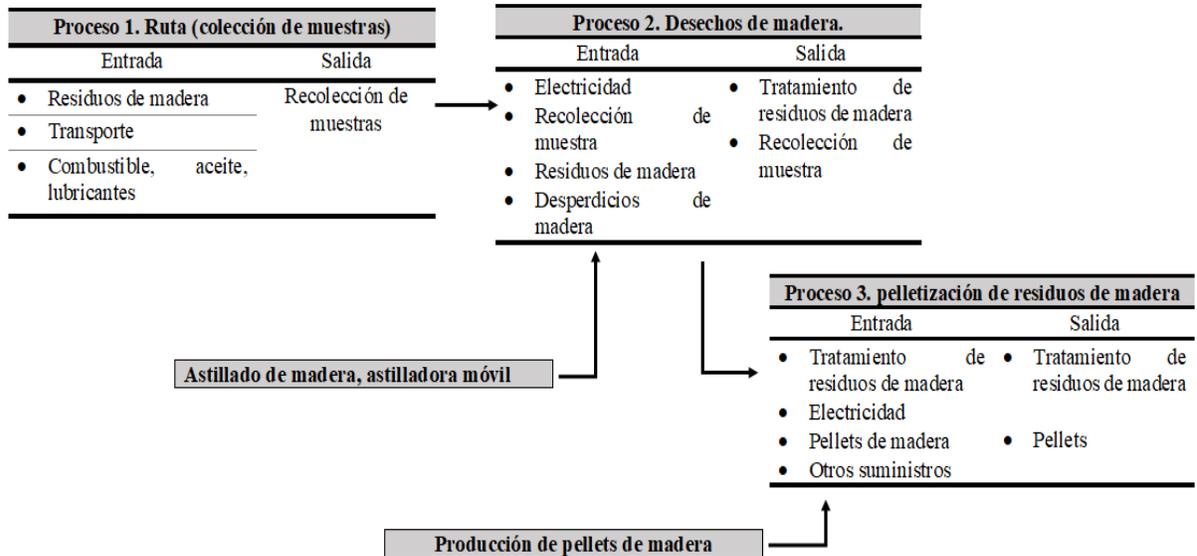


Figura 19 Diagrama de sistema generado por el Software Open LCA para la elaboración de pélets (fuente propia).

Una vez conocidos los datos de entrada y salida de los sistemas, se procedió a ingresar estos datos al software OpenLCA versión 1.6.2, para el método de evaluación de los impactos se empleó la base datos de econinvetn 3.3 LCIA, en la figura 20 se puede observar el diagrama de sistema que genera el software OpenLCA para la generación de energía y en la figura 19 se puede observar el diagrama para la elaboración de pélets.

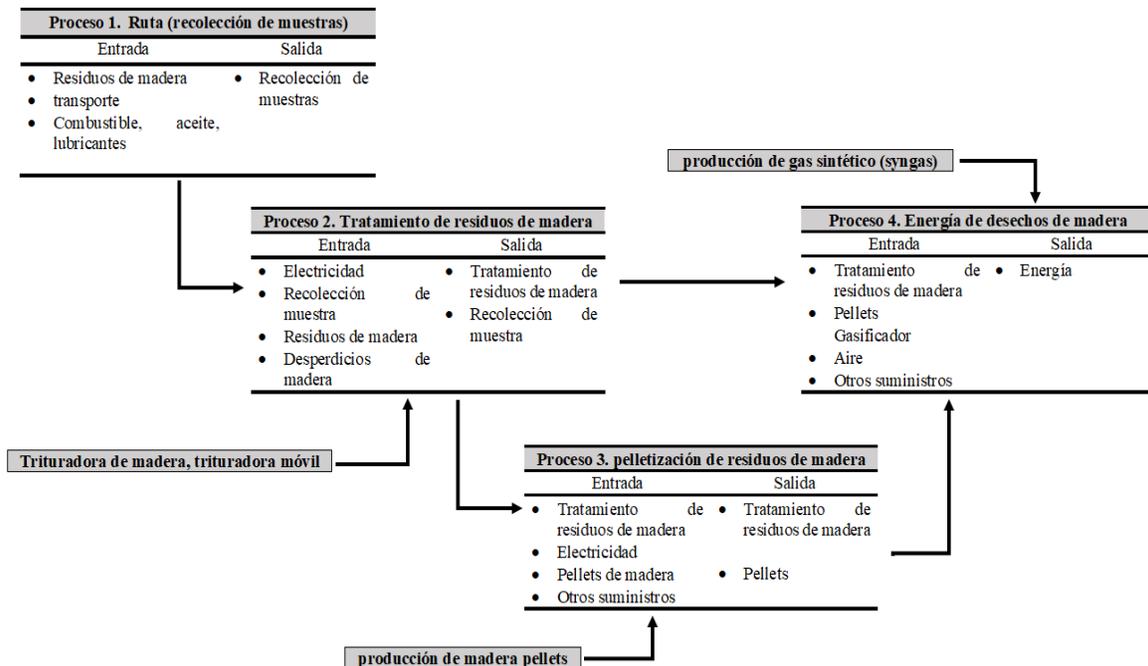


Figura 20 Diagrama de sistema generado por el Software Open LCA para el aprovechamiento energético (fuente propia).

Una vez elaborado el inventario de entradas y salidas del sistema el programa arroja la contribución al calentamiento climático de cada proceso, como se describen en la tabla 8 y tal como se puede observar en la tabla 9. Por la elaboración de pélets, la contribución es de 0.03%, lo cual se puede explicar por el poco insumo que requiere esta tecnología. Los datos más altos se presentan en los procesos dos (tratamiento de la biomasa) y tres (elaboración de pélets), con un 99,70% y 100%, respectivamente, lo cual se debe al consumo de energía que requieren las máquinas para chipiar el material y para elaborar los pélets.

Tabla 10. Árbol de contribuciones por procesos (elaboración de pélets)

Contribución	Procesos
100%	<i>Process 3 - Wood waste pelletizing</i>
99.97%	<i>Process 2 - Wood waste treatment (Chipping and drying)</i>
00.03%	<i>Wood pellet production</i>

En cuanto a las contribuciones generadas en el proceso energético, se puede decir que son muy bajas, con un 0.02%, lo cual se debe a los pocos insumos que requiere y a los pocos procesos de transformación. Pero, al igual que en la elaboración de pélets, los procesos que más contribuyen a la generación de impactos son el tres (Wood waste pelletizing) con 50.06% y el dos (Wood waste treatment (Chipping and drying)) con 49.92% (ver la tabla 10). Esto se debe al consumo de energía que no confiere valor agregado energético a los productos obtenidos de ellos.

Tabla 11. Árbol de contribuciones por procesos (generación de energía)

Contribución	Procesos
100%	<i>Process 4 - Wood waste energy</i>
> 50.06%	<i>Process 3 - Wood waste pelletizing</i>
> 49.92%	<i>Process 2 - Wood waste treatment (Chipping and drying)</i>
> 0.02%	<i>Syngas production from wood waste, at fixed bed gasifier</i>

Para determinar los resultados del EICV se utilizó la base de datos Ecoinvent 3.3 con los indicadores de impacto del IPCC 2013, que corresponde a las contribuciones al potencial de calentamiento global (GWP) para 20 y 100 años. Como se puede observar en la tabla 11, las contribuciones al GWP 20 son mayores por su corto tiempo relativo a las de GWP 100. También se puede observar que los procesos 2 y 3 son los que más contribuyen al calentamiento global, debido a que son procesos que consumen energía para el chipiado de la madera y la generación de pélets.

Tabla 12. Resultado de EICV OpenLCA v 1.6 (elaboración de pélets)

Indicador de impacto IPCC 2013	Proceso 1 Collection	Proceso 2 Wood waste treatment	Proceso 3 Wood waste pelletizing
Climate change-GWP 20a (kg CO ₂ -eq)	11.44	321.83	298.94
Climate change-GWP 100a (kg CO ₂ -eq)	7.55	294.51	279.41
Climate change-GWP 100a (Corrected) kg CO ₂ -eq	9.07	285.53	287.37

Como se puede observar en la tabla 12, cada proceso en la generación de energía con madera residual produce una contribución. Para el caso de estudio los valores de 20 y 100 son muy similares. También se pudo observar que el proceso 4 es el que más contribuye al calentamiento, debido a que indirectamente el programa incluye los procesos necesarios para la elaboración de la planta de gasificación de biomasa en lecho fijo, los cuales no están inmersos en los límites del sistema evaluado, pero influyen en nuestro análisis.

Tabla 13. Resultado de EICV OpenLCA v 1.6 (generación de energía)

Indicador de impacto IPCC 2013	Proceso 1 (Recolección)	Proceso 2 Wood waste treatment	Proceso 3 Wood waste pelletizing	Proceso 4 Wood waste energy
Climate change-GWP 20a (kg CO ₂ -eq)	1.44x10 ⁻⁶	275.08	286.50	572.92
Climate change-GWP 100a (kg CO ₂ -eq)	1.33x10 ⁻⁶	270.76	279.72	559.35
Climate change-GWP 100a (Corrected) kg CO ₂ -eq	1.33x10 ⁻⁶	270.80	279.76	559.44

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con esta investigación, se puede decir que existe una cantidad considerable de empresas que transforman la madera en estos dos municipios (109) como se puede observar en el Anexo 1 (inventario de empresas), las cuales generan un alto volumen de biomasa residual, (723.15 ton/año en Quibdó y 591.42 ton/año de residuos en Riosucio) ver los anexos 2 y 3, volumen que puede aumentar si se cuantifican los residuos que quedan en el bosque luego de extracción de la madera, donde queda aproximadamente el 91.44% del volumen total del árbol respecto al procesado de madera. Además se pudo determinar que el alto volumen de estos residuos se debe a que las empresas para transformar la madera emplean maquinaria en mal estado, los procesos son realizados de forma artesanal y las personas que se dedican a esta actividad lo hacen de forma empírica.

El material residual se almacena en las empresas o en predios aledaños, lo que facilita su recolección, además las características fisicoquímicas de esta biomasa residual indican un potencial energético importante para aprovechar con fines energéticos (15345 kJ/kg en la muestra de mezcla), lo cual permitiría suministrar energía a zonas no interconectadas al servicio eléctrico (aproximadamente 2995 viviendas en zonas rurales), generando autonomía energética en estas zonas rurales y una reducción a la dependencia del petróleo. Otra contribución importante sería la generación de alrededor de 7 empleos directos y más de 240

indirectos con la elaboración de pélets de madera residual, generando empleo en la región e incentivando el desarrollo socio-económico en las comunidades.

La elaboración de aglomerados (contrachapados o tableros aglomerados) a partir del aprovechamiento de estos residuos es posible, pero debido a la cantidad de procesos y de recursos necesarios para su elaboración no sería viable económicamente en la región. Esto debido a las condiciones climáticas (precipitación, humedad) de la región lo que no contribuiría a la elaboración de un producto de calidad, sumado a las malas condiciones de las vías, las cuales se encuentran en mal estado, lo que dificultaría la comercialización y competencia en este mercado donde ya existen empresas posesionadas en el país.

La elaboración de pélets o briquetas sería una buena opción para el aprovechamiento de estos residuos, ya que no se necesitaría muchos insumos y maquinarias para su elaboración. Una máquina para la fabricación de pélets cuesta alrededor de 30 millones de pesos, un valor relativamente bajo comparado con las ventas que este puede generar. El mercado de este producto está en crecimiento, lo que puede significar gran beneficio económico en la región, si se hace una adecuada promoción. Este producto bajaría los índices de deforestación en la zona ya que es un material que las comunidades pueden emplear para generar calor para la cocción de los alimentos y reducir las emisiones de CO₂ en un 50% comparado con la combustión de leña o astillas.

La evaluación a través del ACV de las tecnologías de aprovechamiento de biomasa residual demostró que la tecnología más amigable con el medio ambiente es la elaboración de pélets con una contribución de 298.94 kg CO₂-eq -GWP 20a, y 287.37 a 298.94 kg CO₂-eq -GWP 100a, seguida por la generación de energía con 572.92 kg CO₂-eq -GWP 20a, y 559.44 CO₂-eq -GWP 100 ver el Anexo 6. Ya que esta última es la que genera más contribuciones sociales y económicas a la región se determinó escogerla como la mejor opción a implementar. Con una de una sola planta de gasificación se le puede suministrar energía a más de 25 viviendas rurales, lo que mejoraría la calidad de vida de estos habitantes.

8. REFERENCIAS

Abelleira Sánchez, P. (2011). Aplicación del software BEES V. 4.0 como herramienta de ACV en la construcción. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña.

Amaya Cubillos, C. P. (2015). Disposición de Residuos Industriales Maderables: Una estrategia Empresarial Ambiental para convertir costos en inversiones. Tesis de licenciatura Universidad Militar Nueva Granada.

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2012b). Standard test method for moisture analysis of particulate wood fuels. ASTM E871, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA. pp. 98-99

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2009a). Standard Test Methods for specific gravity of wood and wood-Based Materials. ASMT D2395, Annual Book of ASMT Standards, Vol. 4.10. West Conshohocken, PA, USA. pp. 357-364

American Society for Testing and Materials (ASTM) (2012a). Standard test methods for analysis of wood fuels. ASTM E870, Annual Book of ASTM Standards, Volume 11.16. West Conshohocken, PA, USA. pp. 96-97

Arroyo, H. H. M., Guardia, M. M., Maturana, F. B., & Flórez, J. A. B. (2007). Determinación del porcentaje de desperdicio en las labores de aprovechamiento forestal en un bosque pluvial tropical en el municipio de Medio San Juan, Chocó, Colombia. *Revista Nova*, pp 5(8).

Avella Arévalo, D. G (2008). Modelos de negocio para el para el aprovechamiento de residuos sólidos en Boyacá: hacia una perspectiva de cero desechos. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

Boada Ortiz, A., Rocchi, S., & Kuhndt, M. (2017). *Negocios y sostenibilidad: más allá de la gestión ambiental*.

Castells, X. E. (2012). *Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales: Reciclaje de residuos industriales*, Editorial Díaz de Santos, Albasanz, 2. Madrid, pp 324-782.

Ceballos Cuevas, E., & Daza Ardila, C. A. (2013). *Plan de negocios para la fabricación de madera sintética*. Tesis de grado, Universidad EAN-Bogotá D.C, Colombia.

Celano, J. A., & Jacobo, G. J. (2004). Desarrollo de componentes constructivos a base de residuos de madera para la construcción de viviendas. *Revista Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, pp 3(4).

Cerda, R. J. C. (2015). *Caracterización Física, Química y Energética de Biomasa Leñosa como materia prima leñosa*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba, España.

Chan Martín, M. H., Araujo Molina, O., Azueta García, M., & Solís Rodríguez, L. E. (2004). *Tableros de madera de partículas*. *Revista Ingeniería*, pp 8(3).

Cocchi, M., Nikolaisen, L., Junginger, M., Goh, C. S., Heinimö, J., Bradley, D., ... & Hennig, C. (2011). Global wood pellet industry market and trade study. In *IEA bioenergy task* (Vol. 40, pp. 190).

Concepción, R. R. F., Chonillo, R. A., Lorenzo, A. F., & Morales, S. C. (2016). Determination Of The Potential Of Sawdust In The City Of Guayaquil As Raw Material For The Production Of Various Assortments In Forestry Industry. *Revista Holo*, 32(4), 105.

Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó-Codechocó. (12 Junio de 2012). *Informe de Gestión y Desarrollo Sostenible*. Chocó, Codechocó. Recuperado de <https://codechoco.gov.co/portalwp/>

Delgado Ollague, g. (2016). Diseño de un Modelo de Vivienda Social Implementando el Hormigón con Fibras de Madera. Tesis de licenciatura, Universidad de Especialidades Esperitu Santo UEES-Ecuador.

Desarrollo Tecnológico, F. A., & Social, B. C. (2007). Cadena productiva forestal-tableros aglomerados y contrachapados-muebles y productos de madera (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, proyecto transformación de la Agricultura, Bogotá. Giro Editora Ldt, pp3-176.

Dopazo Amoedo, R., & Vega Nieva, D. J. (2009, June). El aprovechamiento de biomasa residual y de cultivos energéticos: experiencias recientes y modelos de producción de biomasa forestal en montes gallegos. 5 Congresos Forestales Español Montes y Sociedad: Saber qué hacer. Editorial, S.EC.F-Junta de Catilla y León. 2(13)

ECOINVENT, (2007). Swiss centre for Life Cycle Inventories (ecoinvent centre). Ecoinvent database. ecoinvent centre, du" bendorf, 2004 and 2007. <<http://www.ecoinvent.org>>.

Energías Renovables (2008). Energías Renovables - Energía Biomasa. Dirección Nacional de Promoción, Subsecretaría de Energía Eléctrica. Argentina, Edición, diagramación y diseño. 5(19)

Erazo Rosales, M. Á. (2014). Evaluación de alternativas de electrificación rural basada en INTIGIS para las comunidades de Miyugo y la Bucana en la provincia de Loja. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Loja-Ecuador.

Escudero Almeida, D. J. (2015). Obtención de bioetanol a partir de inulina proveniente de biomasa vegetal mediante sacarificación y fermentación. Tesis de licenciatura, Universidad Central del Ecuador - Quito: UCE.

Fernández Soria, P. P. (2015). Transformación y uso sostenible de los residuos maderables y agrícolas en briquetas en Leoncio prado-Perú. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria de la Selva- Tingo María – Perú.

Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., & Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 91(1), pp 1-21.

Gaitán, A., Fonthal, G., & Ariza-Calderón, H. (2016). Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de *Pennisetum purpureum schum*, *Philodendron longirrhizum* y *Musa acuminata*. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(1), 5-11.

García, A. A. F. (2017). Análisis y desarrollo de tableros de caña común (arundo donax l.) con cemento para su uso como material de construcción. Tesis Doctoral, Universidad Miguel Hernández de Elche. Universidad Miguel Hernández de Elche -España.

Glass, S. V., & Zelinka, S. L. (2010). Moisture relations and physical properties of wood. *Wood handbook: wood as an engineering material: chapter 4*. Centennial ed. general technical report fpl; gtr-190. Madison, wi: us dept. of agriculture, forest service, forest products laboratory, 2010: p. 4.1-4.19., 190, 4-1.

González, A. F. (1993). Evolución del mundo tecnológico de los tableros de madera. In Congresos Forestales. Departamento de Control de Calidad de Tableros de Fibras S.A. Fernando El Santo, N°20 28010-MADRID (España)

Guardia, M. M., Arroyo, H. H. M., & Hurtado, A. R. (2010). Aprovechamiento de residuos sólidos. Avances en investigaciones realizadas en la universidad tecnológica del chocó. Revista institucional universidad tecnológica del Chocó investigación biodiversidad y desarrollo, 29(2), 177-185.

Guardia, M. M., Torres, J. J. T., & Arroyo, H. H. M. (2015). Aprovechamiento forestal maderable en cuatro municipios del departamento de Chocó, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(2), 57-74.

Gudynas, E. (2011). Desarrollo, derechos de la naturaleza y buen vivir después de Montecristi. Debates sobre cooperación y modelos de desarrollo. Perspectivas desde la sociedad civil en el Ecuador. Editora, Centro de Investigaciones CIUDAD y Observatorio de la Cooperación al Desarrollo, Quito. pp 83-102, 86.

Guillén, R. V., & Dávila, J. P. (2014). Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción de pellets de biomasa leñosa torrefactada. Saber y Hacer, Revista de la Facultad de Ingeniería vol 2 N°1, 2015 1(2), 88-123.

Hidalgo, F. A., Honorato-Salazar, J. A., & Hernández, G. C. (2017). Caracterización energética de la madera de *Acacia pennatula* Schltdl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 8(39), 71-81.

Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico - IIAP. (18 de marzo 2004). Informe del Estado del medio ambiente y de los recursos naturales. Chocó. IIAP Recuperado de <https://iiap.org.co/>

IDAE (2010): Programa Biomcasa. Madrid.

IPCC (2014). Summary for policymakers, in: climate change 2014, mitigation of climate change. contribution of working group iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [edenhofer, o., r. pichs-madruga, y. sokona, e. farahani, s. kadner, k. seyboth, a. adler, i. baum, s. brunner, p. eickemeier, b. kriemann, j. savolainen, s. schlömer, c. von stechow, t. zwickel and j.c. minx (eds.)]

ISO (2006). ISO 14040 International Standard. En: Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Organisation for Standardization, Geneva, Switzerland.

Johnson, H. (2013). El reciclaje en el siglo XX y su perspectiva en el siglo XXI. *Revista Posgrado y Sociedad*, 13(1), 61-90.

Koroneos, C. J., & Nanaki, E. A. (2012). Integrated solid waste management and energy production-a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. *Journal of cleaner production*, 27, 141-150.

Latina, P. T. E. A. (2001). Análisis de la información sobre productos forestales madereros en los países de América latina-FAO. Argentina. *Revista Latinoamericana*, 26(1), 21-38.

Lima Rojas, L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León.

Lopez Castro, A. M., & Blandon Castro, S. E. (2016). Eficiencia Productiva en el Sector Madera Mueble, en la Ciudad de Matagalpa, Periodo 2015. Editorial /a/deas, Matagalpa, Nicaragua, pp 2(10).

López, O. (2012). Aprovechamiento y uso de madera obtenida de entresacas de plantaciones forestales. *Revista M&M*, (76), 28-29.

López, Y. M., González, M. G., & Rodríguez, E. M. (2015). Impacto ambiental de residuos industriales de aserrín y plástico. Usos para la industria de tablero en Cuba. *Revista Avances*, 16(2), 91-99.

Mafla Carvajal, L. A. (2015). Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: papel, cartón, madera, materia orgánica del distrito metropolitano de Quito. Año 2014-2015. Tesis doctoral, Universidad Internacional SEK- Quito-Ecuador.

Marcos, F., & Núñez, M. (2006). Biomasa forestal: fuente energética. *Revista Energética XXI*, 4(52).

Martín, F. M., Díaz, R. G., & Gar, F. (2005, June). Caracterización energética de la biomasa de chopo (*Populus x euramericana I-214*). En *Congresos Forestales*, Departamento de Ingeniería Forestal. Univ. Politécnica de Madrid, pp 1-6.

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

Mayoral, J. G. R. (2015). Producción de biochar a partir de viñas agotadas mediante pirólisis en reactor a escala piloto y en reactor móvil energéticamente sostenible. Tesis Doctoral, Universidad de León.

Mayta Carhuamaca, G. C., & Esquinarila Anaya, M. E. (2014). Propuesta de manejo de residuos madereros en una empresa dedicada a la elaboración de pisos de madera (No. K50 M37-T). Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru).

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource technology*, 83(1), 47-54.

Morales Romero, R. L., & Ramírez Roldán, A. M. (2010). Diseño de un sistema de gestión de residuos peligrosos para el sector industrias forestales en la jurisdicción del DAMA. Tesis de Grado, Universidad De La Salle, Bogotá-Colombia.

Moreno, G. R., & Ledezma-Rentería, E. (2007). Efectos de las actividades socio-económicas (minería y explotación maderera) sobre los bosques del departamento del Chocó. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, 26(1), 58-65.

Mosquera-Andrade, D., Escobar-Durán, R., & Moreno-Sánchez, A. M. (2011). Estructura y función de los huertos caseros de las comunidades afrodescendientes asentadas en la cuenca del río Atrato departamento del Chocó, Colombia. *Revista Biodiversidad Neotropical*, 1(2 Jul-Dic), 91-97.

Martí, B. V. (2006). Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. *Revista Ecosistemas*, 15(1).

Moscoso, T. N. J., Alvarado, F. D., Caroca, F. G., & Sobarzo, V. P., 2016. Evaluación Ambiental De Alternativas Tecnológicas De Aprovechamiento Energético De Residuos Forestales Mediante Análisis De Ciclo De Vida. Tesis De Grado.

Nogués, F. S. (2010). Energía de la Biomasa (volumen I). Vol. 173. Prensas Universidad de Zaragoza, pp 557, 620-95

Núñez, C. A. F., Fajardo, C. A. G., & Vargas, F. E. S. (2012). Producción y uso de pellets de biomasa para la generación de energía térmica: una revisión a los modelos del proceso de gasificación. *Revista Iteckne*, 9(1), 21-30.

Olivera, A., Cristobal, S., & Saizar, C. (2016). Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social. Una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones. *INNOTEC Gestión*, (7 ene-dic), 20-27.

Ortiz Barrios, R., Martínez, S. D., Vázquez Rabanales, D. E., & Juárez, W. S. (2016). Determination of the coefficient and timber quality from the Pinus genus in the Sierra Sur, Oaxaca, México. *Colombia Forestal*, 19(1), 79-93.

Padilla, A., Petit, J., Padilla, D., & Quintero, L. (2000). Especies usadas como comburente en la comunidad de Villanueva, Estado Lara-Venezuela. *Revista Forestal de Venezuela*, 44(1), 11-15.

Peksa, M., Dolzan, P., Grassi, A., Heinimö, J., Junginger, H. M., Ranta, T. M., & Walter, A. (2007). Global wood pellets markets and industry: policy drivers, market status and raw material potential. In IEA bioenergy Task 40, pp 5(20).

Pinelo Morales, G., Morales, R., & Manzanero, M. (2015). Buenas prácticas para el manejo, manipulación y producción de madera en Petén, Guatemala: manual para la industria de la madera. Manual técnico no. 127 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),

Proyecto Ciencia Tecnología e Innovación para el Mejoramiento del Sector Maderero en el Departamento del Chocó, CTeI Madera Chocó. (2016). Informe de Gestión. Chocó. Universidad Tecnológica del Chocó-UTCH. Recuperado de <http://maderaschoco.com/>

Ramírez-Sánchez, I. M., Rios-Solis, M. E., Morales-Contreras, M., Colomer-Mendoza, F. J., Vargas-Soto, J. C., & Robles-Martínez, F. (2017). Uso de viruta de madera y lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como agentes estructurantes en tratamientos aerobios de residuos hortícolas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 153-160.

Rodríguez, B. I. R. (2003). El Análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. boletín IIE, 91-97.

Rojas, M. (2004). Prefactibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de pellets para combustibles a partir de desechos de madera. Tesis ing. forestal. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Escuela de ciencias forestales. 22-26 p.

Romero Romero, L. M., & Morales López, J. G. (2017). Análisis y sistematización de publicaciones en idioma español sobre uso del hidrógeno como combustible alternativo para automóviles.

Salazar, J. A. H., & Pérez, J. H. (2016). Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Revista Madera y bosques*, 4(2), 79-93.

Salvador, A. R. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat.(Esp)*, 104, 331-345.

Semarnat & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad*, 9(2), 90-107.

Serna-Mosquera, Y. B., & Agualimpia-Ortiz, L. J. (2016). Characterization of cabinetmaking productivity in Quibdó, Chocó-Colombia. *Revista Entramado* vol.12 no.2 Cali July/Dec. 2016, 12(2), 206-219.

Sierra Aguilar, J. (2010). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia. Tesis Doctoral, Universidad de Sucre- Sincelejo.

Sluiter, J. B., Ruiz, R. O., Scarlata, C. J., Sluiter, A. D., & Templeton, D. W. (2010). Compositional analysis of lignocellulosic feedstocks. 1. Review and description of methods. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(16), 9043-9053.

Smith, J. F. (2013). Las cadenas de valor en Nicaragua, Quequisque, forestal, lácteos. Tres estudios de caso. 1a ed. Managua: UNIFEM, 226 p.

Smith, S., & Bracho, Y. (2011). Aprovechamiento de la biomasa residual seca, una alternativa para la generación local de energía eléctrica en Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 26(1), 21-38.

Soto, G., & Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla, usando aserrín de pinus radiata (d. don), como material aglomerante. *Maderas. Revista Ciencia y tecnología*, 10(2), 129-137.

Spavento, E., María, E., Keil, F. M. S., & Darío, G. (2008). Propiedades mecánicas de la madera. Curso de Xilotecología. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Argentina, pp4-26

Spavento, f. e. m. (2012). Suelos de madera y de productos derivados de la madera Universidad Nacional de La Plata. Argentina, pp 5-22.

Suppen, N., & van Hoof, B. (2007). Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño. Recuperado de http://www.icyt.df.gob.mx/documents/cursos_diplomados/seminario_empresa/PRESENTACION_NYDIA_SUPPEN.pdf/Consultado, pp 25(05), 2014.

Tenecela Yuqui, X. (2012). Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos. Tesis de Licenciatura-Universidad de Cuenca, Repositorio Institucional.

Velázquez Martí, B. (2006). "Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética". En: *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 15(1), pp. 77-86.

Viera, D. V., & Ayala, K. M. (2006). Efecto de la relación madera-cemento sobre la compatibilidad de la madera con el aglutinante. *Revista Forestal Baracoa*, 25(2), 87-91.

Vinterbäck, J. (2004). Pellets 2002: the first world conference on pellets. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 513-520.

Weidinger, C., Fischler, F., & Schmidpeter, R. (2014). Business success through sustainability. In *Sustainable Entrepreneurship* (pp. 287-301). Springer, Berlin, Heidelberg.

Zárate, J. B. (2016). La madera como combustible. *Revista Forestal del Perú*, pp 14(2).

Zuluaga, B., Alexandra, M., & Martínez Betancur, L. V. (2013). Consumo sostenible desde la producción del sector maderas en una empresa de Pereira. Tesis de Grado, Universidad Católica de Pereira.

Anexos

Anexos1. Inventario de empresas

muestra	Ebanistería/aserradero	Propietario	Barrio	Dirección
1	EBANISTERIA FERNANDO	GUSTAVO FERNANDO	MARGARITAS	CRA. 11
2	EBANISTERIA YUBER	YUBER MENDOZA	YESCA GRANDE	24 # 7- 112
3	ASERRIO KENNEDY	DARIO TABARES	KENNEDY	Cra. 1 N° 35-47
4	COOMADERAS	NIVE MAGALYS SALINAS BECERRA	CRISTO REY	CRA1# 30-02
5	EBANISTERIA CAICEDO	LEISON CAICEDO	MIRA FLORES	B/ MIRA FLORES
6	MUEBLES FELIX	LEONILA MURRAY DE OREJUELA	YESCA GRANDE	B/ YESCA GRANDE
7	CARPINTERIA GLORIMA	LUIS DAVID MIGRINIS	ALAMOS	B/ los Álamos
8	EBANISTERIA EVER	EVER PALACIOS	ALAMOS	B/ los Álamos
9	EBANISTERIA YOSAMANY	YONY SERNA	MEDRANO	B/ MEDRANO
10	J.J	JEIRO JAVIER MOSQUERA	SAN VICENTE	Cra. 4ª N° 13-48
11	FERROMADERAS	RAMON PAZ SUÑIGA	CRISTO REY	CRA 1 # 29- 91
12	EBA. MUEBLES Y MADERAS FINAS	MANUEL OBIDIO ZEA CORDOBA	JARDIN	CALL 24 # 22-55
13	ASERRIO BOLILLADORA	JAVIER ANGEL VIDAL	ALAMOS	B/ los Álamos
14	ASERRIO EL TERMINAL	ALBERTO SIERRA	LA YESQUITA	CII 20
15	SALVADOR MORENO	URIBE VELEZ	B/ URIBE	3144300548
16	MADERAS EL CHOIBA	JAIRO AUGUSTO RIVERA	ALAMOS	B/ los Alamos
17	EBANISTERIA JHOESMY	MILTON MATURANA	CASA BLANCA	CASA BLANCA SEC/CALIFORNIA
18	EBANISTERIA EL QUINTO	AMADEO QUINTO MARTINEZ	ALAMEDA REYES	Cra 9ª N° 24-66
19	MUEBLES CASA IDEAL	FEDERICO PARRA	KENNEDY	KENNEDY
20	EBANISTERIA EL PUENTE	JOSE DOMINGO MARMOLEJO	LA YESQUITA	CII 20 N° 6-71
21	EBANISTERIA ANDAGUEDA	JOSE IGINIO MINOTTA	LA ESMERALDA	CALL 26 #26-13
22	LA CASA DEL MACHIMBRE - ASERRIO	RAMON MARTINEZ	KENNEDY	Cra. 1 N° 33 – 06
23	EBANISTERIA YADY	ADRIANA CORRALES CUESTA	PORVENIR	B/ PORVENIR
24	EBANISTERIA PINO EL MEJOR	WILTON PINO	MEDRANO	B/MEDRANO
25	TALLER MI LUCHA	LUIS PALOMEQUE	ZONA MINERA	CALL 24 # 19-2
26	EBANISTERIA ELY	ELIGIO COSSIO RIVAS	JARDIN SECT. JAZMIN	CALL 21 # 22- 57
27	EBA. NUEVO ESTILO	WILSON PEREA DIAZ	JARDIN	CALL 24 # 20-24

Anexo 2. Cuantificación de biomasa (imágenes)



Recolección y cuantificación de los residuos generados en las ebanisterías



Recolección y cuantificación de los residuos generados en los aserraderos



Medición de los tablones de madera al ingreso a los aserraderos



Medición del producto final de la transformación de la madera

Anexos 4. Cálculo del volumen de madera residual.

Cuantificación de biomas (1) - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Calibri 11 A A A A Ajustar texto General

Pegar Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Celdas

U115

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
84		Cantidad de residuos generados por un tablon										0,034				Residuos generado
85										2,36	0,4681					Residuos generado
86											0,016					
87		UNIDADES EN VOLUMEN														
88		Promedio de residuo generado por una troza	0,025	m3/Troza												
89		Cantidad de trozas empleadas en un día	13,38	Troza/día												
90		Cantidad de trozas ideales empleadas en el mes	401,25	Troza/mes				cantidad T	meses	MADERA(CANTIDAD)						
91		Cantidad de trozas reales empleadas en un mes	347,75	Troza/mes				485	9	4365						
92		Residuos generados en 1 aserradero al mes	8,62	m3/mes				150	3	450						
93		Residuos generados en 14 aserradero al mes	120,72	m3/mes							4815	troza/año				
94																
95		UNIDADES EN PESO														
96		Promedio de densidades de las maderas en estudio	336,68	kg/m3		0,34	ton/m3									
97		Residuo generado por una troza de madera	8,35	kg/troza												
98		Residuo generado en 1 aserradero al mes	2903,11	kg/mes												
99		Residuo generado en 14 aserradero al mes	40643,54	kg/mes												
100																
101		Residuos generados al año en los aserraderos	487722,43	kg/año		487,72										
102		Residuo generados por las ebanisterías al año	235425,24	kg/año		235,43										
103		Potencial de generación de madera residual	723147,6727	kg/año		723,75										
104																
105		Valor mas bajo de calefacción de mayo interés (Mezo)	18030,04	Kj/kg												
106																
107		Potencial energetico de madera residual industria	13038381463,91	Kj/año												
108			362177262,9	Kwh/año												
109																
110		Consumo promedio mensual de energía por viviendas	91,57	Kwh/mes												
111			1038,84	Kwh/año												
112																
113		Cantidad de viviendas atendidas con ese potencial	329539,63	viviendas												
114																
115																
116																

PROCESOS A1

- Tablon Inicial 1
- Tablon Inicial 2
- Tablon Inicial 3
- Tablon Inicial 4
- Tablon Inicial 5

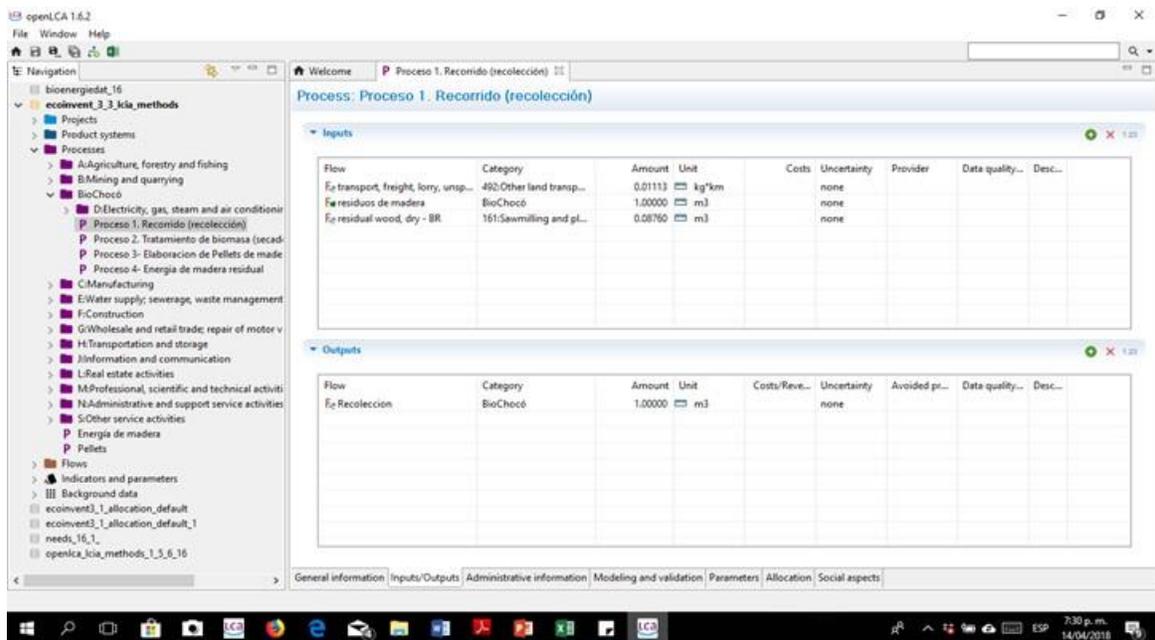
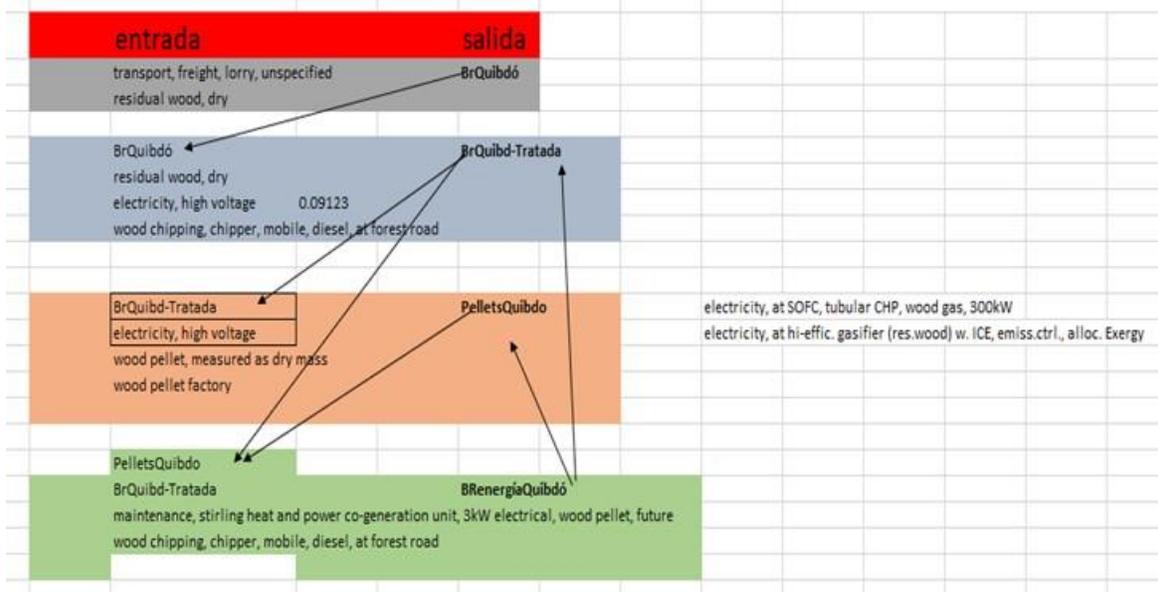
Aserraderos 1 Aserraderos ebanisterías

Anexos 5. Datos de entrada para el programa Open LCA.

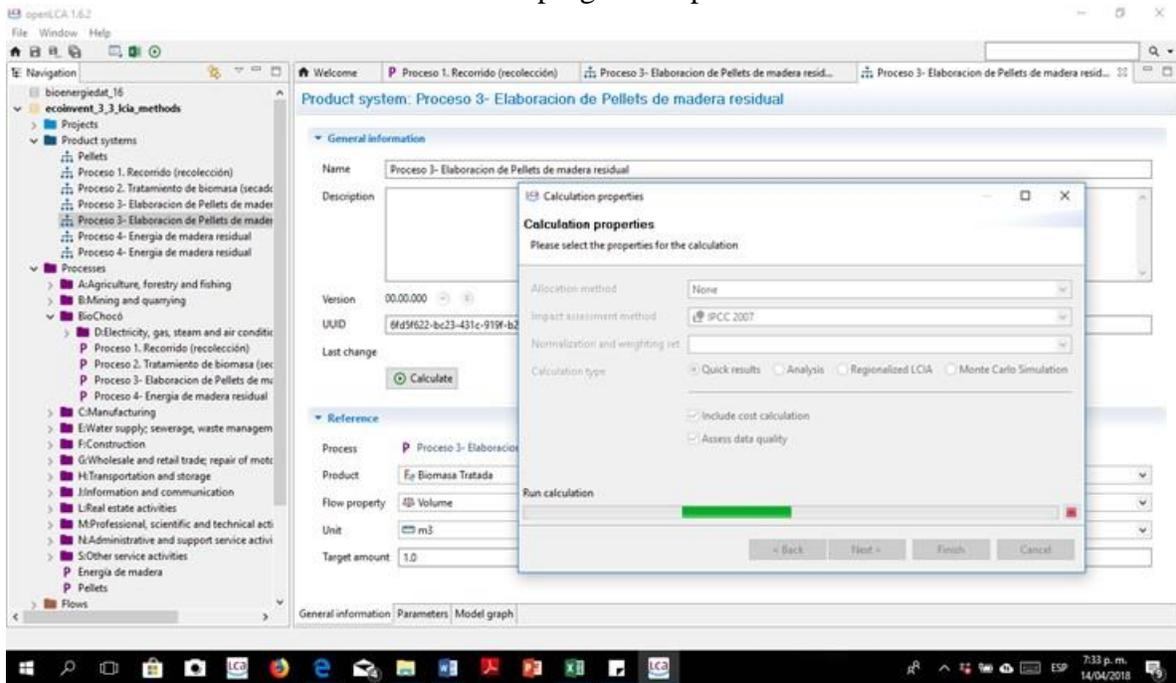
Entrada	Procesos Energía	Salida
light commercial vehicle production, alloc. default, U	Proceso 1. Recorrido (recolección)	waste wood, untreated
transport, freight, lorry, unspecified residual wood, dry (0.0876)		para transportar 1m3 de madera necesito
para transportar 1m3 de madera necesito residual wood, dry	proceso 2. tratamiento de biomasa	BrQuibd-Tratada
BrQuibdo		
electricity, high voltage		
tritadora (wood chipping, chipper, mobile, diesel, at forest road)		1 power sawing, without catalytic converter, 2-wood chipping, chipper, mobile, diesel, at forest road,
BrQuibd-Tratada	3- energia de maderaQuib	energia de madera
planta (synthetic gas		
synthetic gas production, from wood, at fixed bed gasifier, alloc. default, U		
BrQuibd-Tratada	4- Pellets	pellets
wood pellet, measured as dry mass		
electricity, high voltage 0.0213		

1-heat and power cogeneration unit, 160 kw electrical, components for electricity only, 2-energy requirement for assembly of heat and power co-generation unit, 160kW electrical, 3-energy gross calorific value, in biomass, 4- valor calorifico bruto de la energia, en biomasa, bosque primario, 5-

Anexos 6. Ingreso de datos, corrida y resultados del programa Open LCA



Corrida del programa OpenLCA



Generación de resultados en OpenLCA

