

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ: CASO DE
ESTUDIO**

**LUZ TERESA AGÁMEZ HERNÁNDEZ
JORGE ELIECER ARROYO PATERNINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ: CASO DE
ESTUDIO**

**LUZ TERESA AGÁMEZ HERNÁNDEZ
JORGE ELIECER ARROYO PATERNINA**

Proyecto de grado para optar al título de:

Ingeniero Químico

Director:

Viatcheslav Kafarov

Ingeniero Químico. Ph. D

Co-director:

Katherine Rodríguez

Ingeniero Químico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A Dios, quien hizo posible mi formación integral durante mi transitar por la academia.

A mi amada familia, especialmente a mis padres: Elder Agámez, Luz Mirta Hernández, por su respaldo y fe puesta en mi esfuerzo y dedicación.

A Jorge Eliecer Arroyo, por brindarme su apoyo, comprensión, cariño y por ser parte importante en el logro de ésta meta profesional.

A la licenciada Nayive Garrillo, por su valioso trabajo de edición en este importante documento.

A Cristina Torres, por sus valiosas horas de acompañamiento moral y psicológico.

"...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona"

Luz Teresa Agámez Hernández

DEDICATORIA

-... Mira la hormiga, perezoso, observa sus caminos y se sabio. Ella, sin tener capitán, gobernador ni señor, prepara en el verano su comida, y recoge en la cosecha su sustento. Pr. 6.6

A Dios por estar presente en todos los momentos de mi vida, iluminándome el camino.

A mis padres Jorge Arroyo y Elena Paternina por infundir en mí la lucha y el deseo de superación; resaltando el apoyo en los momentos de duda, desesperación y felicidad.

A mi compañera de tesis Luz T. Agámez, que con sus conocimientos brindo aportes útiles y valiosos para el desarrollo de esta investigación.

Jorge Eliecer Arroyo Paternina

AGRADECIMIENTOS

Soñamos con nuestro ingreso a la Universidad y durante el cumplimiento de ese sueño muchas cosas maravillosas fueron complementando nuestra vida en el transitar por la academia. Por tal motivo, hoy podemos decir que más que ser sencillamente profesionales, somos humanos sensibles a las necesidades que aquejan nuestro país, arraigados a nuestra identidad de ser un pueblo libre y comprometidos con el mejoramiento de la sociedad en la que nos encontremos.

El resultado de lo que hoy somos y de lo que hasta ahora hemos hecho se lo debemos en primera estancia a Dios nuestro creador y Señor, por darnos las fuerzas para avanzar y por respaldarnos siempre en todo; a nuestras familias, por creer en nosotros, por el sustento, y protección que nos han brindado; a cada uno de los académicos que aportaron con su enseñanza a nuestra formación profesional, a la licenciada Nayive Carrillo Garzón por su valioso respaldo y aporte intelectual en la elaboración de nuestra tesis de grado; a la Institución CODECHOCÓ, especialmente a los señores Leisón Palacios y Yoileth Mosquera, por permitirnos información valiosa para el desarrollo de nuestra tesis de grado; al señor Emiro, aserrador del municipio de Carmen del Darién, por su acompañamiento durante nuestra visita a su inolvidable municipio y por permitirnos información de peso, inexistente en la literatura, con la cual fue posible soportar la situación real de Zonas No Interconectadas como Carmen del Darién y a partir de allí generar una propuesta que medie en la demanda del servicio de energía eléctrica de dicho municipio. Agradecemos por su puesto al grupo de investigación CIDES, a nuestra codirectora y director, por brindarnos esta oportunidad. A todos los mencionados Mil y mil gracias. Por ustedes nuestro sueño de recibir el título de Ingenieros químicos se hace posible.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. METODOLOGÍA	23
1.1. SELECCIÓN DE LOS MUNICIPIOS A ESTUDIAR	23
1.1.1. Zonas No Interconectadas (ZNI) del departamento del Chocó	23
1.1.2. Producción maderera	24
1.2. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES	24
1.3. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO	24
1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA BIOMASA	25
1.5. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO	26
1.5.1. Relación residuo a producto forestal – C_r	27
1.6. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA	29
2. RESULTADOS	30

2.1. SELECCIÓN DE LOS MUNICIPIOS A ESTUDIAR	30
2.2. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES	35
2.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL	36
2.4. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO	40
2.5. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA	43
3. CONCLUSIONES	44
4. RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
BIBLIOGRAFIA	52
ANEXOS	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología utilizada para llevar a cabo el estudio	23
Figura 2. Poder Calórico Inferior calculado de la biomasa residual forestal	40
Figura 3. Relación residuo a producto forestal, Cr	41
Figura 4. Potencial Técnico Energético del municipio de Riosucio	42
Figura 5. Potencial Técnico Energético del municipio de Carmen del Darién	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Parámetros de caracterización para la Biomasa Residual Forestal	25
Tabla 2. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2012	31
Tabla 3. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2013	32
Tabla 4. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2014	33
Tabla 5. Movilización de madera para los años 2012, 2013 y 2014	34
Tabla 6. Principales especies movilizadas en Carmen del Darién y Riosucio	35
Tabla 7. Análisis próximo en base seca	37
Tabla 8. Análisis Estructural	38
Tabla 9. Análisis último en base seca	39

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Métodos y técnicas utilizadas por el laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.	58
Anexo B. Métodos utilizados por el grupo CIBIOT de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín.	60
Anexo C. Cálculo de la relación residuo a producto forestal – Cr	61
Anexo D. Cálculo del Potencial Energético (PE)	63
Anexo E. Estimación de la Energía Eléctrica y Potencia Instalada	64

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ: CASO DE ESTUDIO*

AUTORES: LUZ TERESA AGÁMEZ HERNÁNDEZ
JORGE ELIECER ARROYO PATERNINA**

PALABRAS CLAVES: Zonas No Interconectadas (ZNI), Biomasa Residual Forestal, Potencial Energético, Energía Renovable, Generación de Electricidad, Chocó.

Por medio de la siguiente investigación se propone el uso de biomasa residual forestal como alternativa para abastecer y suplir la demanda de energía eléctrica, en las Zonas No Interconectadas de Colombia. Zonas que durante años no han sido atendidas debido a su difícil acceso; sin embargo, dichas zonas cuentan con abundante biomasa. Esta, al ser un recurso renovable, posee el potencial de reducir la dependencia de los combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica.

El presente estudio se llevó a cabo en los municipios de Riosucio y Carmen del Darién en el departamento del Chocó. Este departamento posee el 15% de la cobertura boscosa de Colombia y produce casi el 60% de la madera aserrada que se utiliza en el país, lo que genera abundantes residuos forestales. Dichos residuos poseen un potencial de 3,932.96 TJ al año, para el Municipio de Riosucio, en donde el Abarco y el Cativo representan, en conjunto, un 54% del potencial total para este municipio. Así mismo, el municipio del Carmen de Darién presenta un potencial de 1,914.52 TJ siendo, en este caso, el Choibá la especie que más aporta a dicho potencial con un 27%.

Esta investigación soporta, a su vez, el hecho de considerar que el uso de los residuos forestales de los municipios de Carmen del Darién y Riosucio permitirá suplir la latente necesidad y demanda de energía eléctrica de estos municipios, con un cubrimiento del 100%, brindando con ello el servicio de energía eléctrica a las viviendas que carezcan de este servicio.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química, Director del Proyecto Ph. D. Viatcheslav Kafarov, Codirector Ing. Katherine Rodríguez

ABSTRACT

TITLE: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ: CASO DE ESTUDIO*

AUTHORS: LUZ TERESA AGÁMEZ HERNÁNDEZ
JORGE ELIECER ARROYO PATERNINA**

KEYWORDS: Non-Interconnected Zones, Residual Forest Biomass, Energy Potential, Renewable energy, Electricity Generation, Chocó.

By means of the following research proposes the use of residual forestry biomass as an alternative to supply and meet the demand for electric energy, in the non-interconnected zones of Colombia. Areas that for years have not been met due to its difficult access; however, these areas have abundant biomass. This, to be a renewable resource, has the potential to reduce dependence on fossil fuels for the generation of electric energy.

The present study was carried out in the municipalities of Riosucio and Carmen del Darien in the department of Chocó. This Department owns 15% of the forest coverage of Colombia and produces almost 60% of the lumber that is used in the country, which generates abundant forestry waste. These residues have a potential of 3,932.96 TJ per year, to the municipality of Riosucio, in where the Abarco and Cativo together each represent a 54 per cent of the total potential for this municipality. Likewise, the municipality of Carmen of Darien presents a potential of 1,914.52 TJ being, in this case, the Choibá the species that is most brings to this potential with a 27%.

This research supports, in turn, consider the fact that the use of the residual forest in the municipalities of Carmen del Darien and Riosucio allow supply the latent need and the electricity demand of these municipalities, with 100% coverage, providing thus the electrical service to homes that lack this service.

* Degree work

** Physical-chemistry Engineering Faculty, Chemical Engineering School, Director Ph. D. Viatcheslav Kafarov, Codirector Chemical engineering Katherine Rodríguez

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un elemento básico para el buen funcionamiento del sistema económico de un país, tanto en el sector agrícola como industrial, lo que la convierte en un factor fundamental para el desarrollo tecnológico. En Colombia, a partir de 1938, se declara como servicio público fundamental el suministro de energía eléctrica y es responsabilidad del estado colombiano, asegurar su prestación de forma eficiente a todos los habitantes del territorio nacional [1].

Sin embargo, debido a la amplitud del territorio colombiano, la diversidad de climas y al difícil acceso a muchas áreas de la accidentada geografía, el suministro de energía eléctrica es casi nulo en muchas zonas del país, lo que ha impedido el acceso de tecnologías que logren mejorar la calidad de vida de los pobladores de dichos territorios y propiciando a su vez, que la desigualdad regional y tecnológica que ha afectado a diversas poblaciones del país siga siendo una realidad latente [2].

Dichos territorios están caracterizados por la gran distancia que hay hasta los principales centros urbanos y por la baja densidad poblacional, donde las condiciones medioambientales de regiones como el Amazonas, la Orinoquia y el Pacífico han impedido la instalación de infraestructura de energía eléctrica. Estos territorios son reconocidos como Zonas No Interconectadas (ZNI), definidas por el Artículo 11 de la Ley 143 de 1994, delimitada y categorizada por la resolución 182138 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en 2007, como las zonas “donde no se presta el servicio público de electricidad a través del Sistema Interconectado Nacional” [2].

Es preciso mencionar que, en las ZNI los servicios públicos son escasos y deficientes, lo que afecta seriamente la calidad de la educación que se brinda en

dichas poblaciones; a su vez, esta situación, desmejora la calidad de la salud, del servicio de agua y de la comunicación [3]. Cabe resaltar que, estas zonas representan el 52% del territorio nacional, el cual incluye 90 Municipios, 1,448 localidades, 39 cabeceras municipales, de las cuales 5 son capitales de departamentos y 20 territorios especiales, biodiversos y fronterizos. No obstante, en las ZNI la prestación del servicio de energía eléctrica se hace, principalmente, mediante plantas de generación diésel, paneles solares y pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH's) [4].

Dentro de éstas ZNI, Vichada, Amazonas, Vaupés, Putumayo, Guaviare y Chocó, son los departamentos que presentan un mayor déficit de cobertura de energía eléctrica en Colombia, ubicando al departamento del Chocó en el sexto lugar, con un déficit de cobertura de 19% para el año 2014 [5].

Cabe señalar, que el abundante uso de las plantas diésel en estas zonas contribuye a la generación de serios problemas ambientales, como la contaminación del aire, la presencia de lluvia ácida y emisiones de gases de efecto invernadero [6, 7]. Es por ello, que la elección de las fuentes de energía renovables es esencial para mantener y mejorar los niveles de vida, y generar con ello un compromiso entre la supervivencia del planeta y la sostenibilidad de la economía a lo largo y ancho del país [8].

Por tal motivo, el objetivo de este estudio, es evaluar el potencial energético de la biomasa residual forestal de dos municipios del departamento del Chocó, mediante la caracterización energética y fisicoquímica de la misma, y estimar la cantidad de energía eléctrica en la que se puede convertir el potencial calculado, debido a que este departamento cuenta con una abundante riqueza forestal y requiere una solución de energización local que ofrezca un servicio constante y confiable.

BIOMASA

El aprovechamiento de la biomasa, como recurso energético en la generación de energía eléctrica, cobra especial relevancia en las ZNI [9], ya que la biomasa, como uno de los mayores recursos renovables, posee el potencial de reducir la dependencia de los combustibles fósiles [10].

Es preciso mencionar que el concepto de biomasa ha sido definido de diferentes formas, tal como se expone a continuación:

- El Consejo Mundial de la Energía define biomasa como: la masa de materia orgánica, no fósil, de origen biológico [9].
- La Unión Europea en sus diversas directivas de fomento de las energías renovables define biomasa como: la fracción biodegradable de los productos, residuos de la agricultura y ganadería, residuos forestales incluidos sus industrias, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales [9].
- La definición propuesta por la Especificación Técnica Europea CEN TS 14588, es: la de todo material de origen biológico excluyendo la materia incluida en las formaciones geológicas y transformadas fósiles [9].
- Según la Ley colombiana 697 de 2001, la biomasa es: toda la materia orgánica de origen natural, como algas, árboles, plantas, residuos de cosechas y los generados por las actividades propias del ser humano, entre otras [11].

Se debe agregar que, la biomasa es uno de los pilares fundamentales para alcanzar niveles aceptables de producción de energía, ya que, el aprovechamiento y la mejora del uso eficiente de la biomasa conducen a la generación de empleo, a beneficios medioambientales y favorece el desarrollo en zonas rurales [9].

Por otro lado, los recursos biomásicos se encuentran disponibles en distintas formas o tipos, incluyendo cultivos energéticos, residuos de agricultura, plantas acuáticas, desechos humanos, residuos forestales, entre otras. [7].

BIOMASA RESIDUAL FORESTAL

Colombia, se ubica en el quinto lugar de los países de América Latina con mayor cobertura forestal con 60.7 millones de hectáreas (ha), después de: Brasil (477.7 millones de ha), Perú (68.7 millones de ha) y México (64.2 millones de ha) [12]. Esta cobertura boscosa se encuentra distribuida en su mayoría, entre las regiones del Amazonas y del Pacífico, las cuales albergan una industria maderera en donde se ha observado un afianzable desarrollo forestal-industrial [12], [13].

De la región pacífica se destaca el departamento del Chocó, el cual posee el 15% de la cobertura boscosa de Colombia y produce casi el 60% de la madera aserrada que se utiliza en el país, lo que genera abundantes residuos forestales [14], [15].

Conviene subrayar que, del árbol, como fuente de biomasa forestal, solo un 28% es utilizable en la industria maderera; dicho porcentaje se ve representado en los productos que se extraen, tales como: bloques, tablas, listones, trozas, vigas, y varetones, productos denominados por la industria como “madera aserrada”. No obstante, el 72% del producto restante del árbol es catalogado como residuo forestal, ya que, estos no son aprovechados por la industria maderera [16].

Debido a ello, cuando se habla de biomasa residual forestal, se hace referencia a las partes de los árboles que no se utilizan en los procesos industriales como ramas, hojas, puntas de troza, raíces, cortezas y aserrín generalmente dejados en el bosque, material que puede ser utilizado como combustible en mayor o menor proporción, siempre y cuando se implemente un sistema de preparación y transporte técnicamente apropiado, económicamente válido y ambientalmente posible [17]. Sin embargo, los tratamientos más comúnmente aplicados a estos residuos son la quema controlada o el apilamiento de los mismos, siendo pocas veces triturada o astillada en el monte para favorecer su rápida incorporación al horizonte orgánico.

Es preciso mencionar que, la disponibilidad de biomasa forestal no hace referencia a cuestiones de precio sino, en este caso, a la función de criterios medioambientales (explotación racional y sostenible de los bosques), técnico-económicos (capacidad de acceder a una masa forestal para su tratamiento) o a procesos relacionados con políticas forestales (interés de promover unos tipos de intervenciones, por ejemplo, orientadas a la prevención de incendios) [9], [18].

POTENCIAL ENERGÉTICO (PE) DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL

Se puede considerar que el uso eficaz de la biomasa residual forestal como fuente de energía permite el avance y progreso de los países, garantizando la sostenibilidad del medio ambiente, así como, la seguridad del abastecimiento energético de la sociedad; por ende, es esencial formular proyectos bien estructurados y estratégicos para aprovechar los recursos de biomasa en diferentes áreas de aplicación, como su potencial energético [9].

No obstante, cuando se habla de potencial energético, se hace referencia a la energía almacenada en su forma primaria y susceptible, la cual puede ser utilizada en un proceso de transformación. Esta energía se ve afectada por la eficiencia de transformación del proceso aplicado a cada producto [19]. Sin embargo, en varios

países el aprovechamiento del potencial energético de la biomasa residual forestal se encuentra en constante aumento. A continuación, se muestran algunos estudios realizados por los mismos:

- En Chile, en el año 2008, José Spichiger y Eduardo Verdugo, estudiaron la viabilidad con la que se podría desarrollar el potencial de generación de energía a partir de residuos del manejo de la biomasa forestal. Su objetivo se centró en verificar si el manejo forestal, los desechos de cosecha, raleos y podas son una alternativa promisorio para tales fines. El resultado fue un potencial total del orden de los 470 MW de potencia instalable factible como máximo y 310 MW como mínimo [20].
- En España, en el año 2015 Sandra Turrado analizó qué tan factible resultaría la aplicación de la biomasa forestal como fuente de energía alternativa. Los recursos de biomasa se analizaron con la aplicación Bioraise. Se obtuvo un ahorro en costo entre 48 y 81%, al utilizar la biomasa forestal disponible para la calefacción doméstica en comparación con los otros sistemas principales de energía [21].
- En Portugal, en el año 2015, Goncalo Lourinho, evaluó el potencial de generación de residuos de biomasa a partir de fuentes agroforestales en Alto Alentejo. Se utilizó un método basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la estimación del potencial técnico de biomasa, a partir de datos cartográficos y estadísticos actuales. El potencial energético estimado de los residuos agrícolas y forestales en el Alto Alentejo fue de 158.000 GJ/año, lo que es equivalente al 100% del consumo de electricidad en tres de los nueve municipios cubiertos en este estudio [22].
- En Argentina, en el año 2015, Justo José Roberts, evaluó la disponibilidad de biomasa residual y su potencial energético en el Partido de General Pueyrredón.

Los residuos considerados fueron: herbáceos y vegetales derivados de la actividad agrícola desarrollada en la región, y los residuos forestales resultantes de la poda de los árboles urbanos y mantenimiento de jardines. Los resultados dieron una disponibilidad de biomasa residual de 204.536 t/año, de donde el 19% corresponde a los residuos forestales, de los cuales resultó un potencial energético de 2.605 TJ/año [23].

Las citas anteriores son algunos de los estudios llevados a cabo por países líderes en la generación de energías limpias, y en donde la mayor parte de ellos, cuenta con leyes que permiten regular el uso y aprovechamiento de ésta biomasa.

1. METODOLOGÍA

Figura 1. Metodología utilizada para llevar a cabo el estudio



1.1. SELECCIÓN DE LOS MUNICIPIOS A ESTUDIAR

En primera instancia se realizó la selección de los municipios a estudiar, para ello, se tuvieron en cuenta dos criterios importantes: el primero, que el municipio hiciera parte de las ZNI del departamento del Chocó, con una demanda energética y déficit de cobertura alta, y el segundo, que dispusiera de una alta producción maderera.

1.1.1. Zonas No Interconectadas (ZNI) del departamento del Chocó

Los datos de cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó, fueron suministrados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), para los años 2012, 2013 y 2014.

1.1.2. Producción maderera

Se recolectó información referente a la producción maderera del departamento del Chocó con el apoyo y colaboración de la Corporación Autónoma Regional Para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ), institución encargada de asignar salvoconductos o autorizaciones, que permiten el aprovechamiento y movilización de los productos madereros en el departamento del Chocó.

1.2. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES

La selección de las especies arbóreas de estudio, se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios: tener una alta producción maderera, de preferencia ser nativos de la región y ser explotados cerca de las riberas del río Atrato, para su fácil transporte a las cabeceras municipales.

1.3. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

La toma de muestras se realizó en el municipio de Carmen del Darién; una parte de ellas se llevó a cabo en el corregimiento de Domingodó y la otra a las orillas del Caño El Limón, territorio en el que actualmente reside la comunidad indígena *Los Embera Tobidá*.

El producto principal del árbol se saca en el mismo lugar donde se realiza el derribamiento del mismo, por lo que la mayor parte de los residuos del árbol se dejan en el suelo; por ésta razón, las muestras recolectadas para realizar el estudio fueron hojas y cantonera, ésta última incluye, cortes de rama, aserrín y cortes de tronco. Se recolectó 1 kg de muestra por cada tipo de residuo para cada especie de árbol de estudio.

En cuanto al sitio de muestreo, este está conformado por bosques naturales los cuales no presentan distancias de cultivos específicas, por lo tanto, el tipo de muestreo implementado en la recolección fue aleatorio, tomando un área de muestreo de 100 m².

1.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA BIOMASA

Las propiedades inherentes de la biomasa, son las que determinan tanto la elección del proceso de conversión como las dificultades de procesamiento posteriores [24]. En la Tabla 1 se observan los parámetros definidos para la caracterización físicoquímica de la biomasa residual forestal.

Tabla 1. Parámetros de caracterización para la Biomasa Residual Forestal

TIPO DE ANÁLISIS			
Análisis Elemental	Análisis Próximo	Análisis Estructural	Análisis Energético
Oxígeno Carbono Nitrógeno Hidrógeno Azufre	Carbono fijo Sólidos Volátiles Cenizas Humedad	Lignina Celulosa Hemicelulosa	Poder Calórico Inferior

Los análisis elemental y estructural fueron determinados en el Laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda. Por otra parte, los análisis próximo y energético fueron realizados en el Centro de Estudios y de Investigación en Biotecnología (CIBIOT) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín. Las técnicas usadas en cada análisis se exponen en los Anexo A y B, respectivamente.

1.5. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

Para evaluar el Potencial Energetico (PE) de los residuos forestales generados en el departamento del Chocó, se tuvo en cuenta un estudio realizado en Colombia por González et al. (2014), quienes propusieron un modelo matemático aplicable en este país [10].

El siguiente modelo matemático se utilizó debido a que, en Colombia no se cuenta con disponibilidad y calidad de datos referentes a la biomasa residual forestal, lo que afecta negativamente todas las investigaciones relacionadas con el sector forestal. Es importante aclarar, que las siguientes ecuaciones, no contienen una varibale que indique la cantidad de potencial que realmente puede utilizarse con una tecnologia o con un proceso termodinamico.

$$PE = \sum_r P_r \cdot c_r \cdot \rho_r \cdot LHV_r \quad (1)$$

$$PE^T = \sum_r P_r \cdot c_r \cdot \rho_r \cdot LHV_r \cdot a_r \quad (2)$$

De donde:

PE: Potencial energético teórico forestal [kJ/año]

PE^T: Potencial energético técnico forestal [kJ/año]

P_r: Producción r-ésima del recurso forestal [m³/año]

c_r: Relación residuo a producto forestal [ton residuo/ton producto principal]

ρ_r: Densidad [kg/m³, base seca]

LHV_r: Poder calorífico inferior [kJ/kg, base seca]

a_r: Factor de disponibilidad

En la ecuación 1, se observa el cálculo del potencial teórico y en la ecuación 2, el cálculo del potencial técnico. El potencial teórico hace referencia a la cantidad máxima de biomasa que se puede utilizar con fines energéticos, excluyendo la biomasa utilizada para alimentos, fibras y materia prima para la industria; y el potencial técnico se define como la fracción del potencial teórico que está disponible para la producción de energía en condiciones y limitaciones actuales [10].

Por su parte, el factor a_r (factor de disponibilidad), indica la necesidad de mantener una parte de los residuos en el bosque, para asegurar buenas condiciones de suelo para el manejo forestal [9], [17], [20].

En esta investigación, el potencial técnico fue calculado teniendo en cuenta un a_r de 50%, esto basado en diferentes estudios realizados en países donde se cuenta con una reglamentación sobre el aprovechamiento forestal [9], [17], [20].

1.5.1. Relación residuo a producto forestal – C_r

La variable C_r como se indica en el modelo matemático, hace referencia a la cantidad de residuos generados por producto principal del árbol [25]. Teniendo en cuenta esta relación, no fue pertinente considerar en este estudio el aprovechamiento de las hojas como residuo, puesto que, al aplicar la relación, estas no representan un peso considerable en comparación al peso del producto principal del árbol. Cabe mencionar que no existe un documento que brinde información sobre los datos del C_r del recurso forestal de la región, por lo que fue necesario apoyarse en los datos e información proporcionada por los aserradores de Carmen del Darién para realizar el cálculo de dicha variable. Por lo anterior, este documento puede ser de gran utilidad a la hora de llevar a cabo una investigación relacionada al sector forestal.

En consecuencia, en el presente estudio no se tuvieron en cuenta las hojas como residuo para aprovechamiento energético. Se recomienda ser dejadas en el suelo como abono, ya que, debido a su fácil degradación, contribuye a la fertilización del suelo de los bosques.

Los residuos a estudiar fueron cantonera, con los cuales se llevó a cabo el cálculo de la variable C_r , mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_r = \frac{W_R}{W_{Pp}} \quad (3)$$

$$W_R = W_f - W_{Pp} \quad (4)$$

$$C_r = \frac{W_f - W_{Pp}}{W_{Pp}} \quad (5)$$

$$W_f = \frac{\pi DAP^2 h_c}{4} * \rho_B \quad (6)$$

$$W_{Pp} = L * A * E * \rho_B * N \quad (7)$$

De donde:

W_R : Peso de los residuos [ton]

W_{Pp} : Peso del producto principal [ton]

W_f : Peso del fuste [ton]

DAP: Diámetro a la altura del pecho [m]

h_c : Altura comercial del árbol [m]

ρ_B : Densidad básica $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

L: Largo del producto principal [m]

A: Ancho del producto principal [m]

E: Espesor del producto principal [m]

N: Cantidad del producto principal extraída por árbol

1.6. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA

Luego de haber calculado el potencial energético se propuso un modelo matemático, con el fin de estimar la cantidad de energía eléctrica y la potencia instalada factible que se podría obtener de los residuos forestales para el año 2014.

$$PG = PE^T * f * \eta \quad (8)$$

$$\text{Potencia instalada factible} = \frac{\sum PG}{T_{op}} \quad (9)$$

Dónde:

PG: Energía Eléctrica generada [MWh/año]

PE^T: Potencial energético técnico forestal [TJ/año]

f: Factor de conversión que equivale a 1MWh/0.0036 TJ

η: Eficiencia eléctrica de centrales generadoras con tecnología tradicional (%)

T_{op}: Número de horas anuales de operación probables, asumiendo suspensiones solo para mantenimiento: 8000 horas

Basados en estudios sobre generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales [2], [20], [26], [27], se consideró para la eficiencia (η), un valor promedio de 25% y un total de 8000 horas de operación.

El cálculo del potencial energético, energía eléctrica y potencia instalada factible, se realizó mediante una matriz de Excel, con los parámetros requeridos por los modelos matemáticos propuestos.

2. RESULTADOS

2.1. SELECCIÓN DE LOS MUNICIPIOS A ESTUDIAR

La información brindada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), sobre la cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó, para los años 2012, 2013 y 2014 (Ver anexo C), evidencia que los municipios Alto Baudó, Carmen del Darién, Medio Atrato y Riosucio presentaron una alta demanda de energía eléctrica; y a su vez, reflejaron un alto déficit de cobertura de este servicio, entre un 59% y 80% para los años mencionados anteriormente, tal como se observa en las tablas 2, 3 y 4, lo que da a entender que, estos municipios manifestaron una gran necesidad en la prestación de este servicio dentro de las ZNI en el departamento del Chocó [8], [28].

Tabla 2. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2012

MUNICIPIO	DEFICIT DE COBERTURA (%)	VIVIENDAS SIN SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA	DEMANDA ELECTRICA (Kwh/año)
Acandí	1.19	32	35,328
Alto Baudó	61.32	3,727	4,114,608
Atrato	44.43	958	1,057,632
Bagadó	47.34	909	1,003,536
Bahía Solano	9.52	213	235,152
Bajo Baudó	8.36	599	661,296
Bojayá	55.43	1,190	1,313,760
Cantón de San Pablo	29.30	520	574,080
Carmen del Darién	80.26	976	1,077,504
Certegüi	54.32	1,126	1,243,104
Condoto	2.83	108	119,232
El Carmen de Atrato	50.38	251	277,104
Litoral del San Juan	22.45	657	725,328
Istmina	1.81	145	160,080
Juradó	6.21	77	85,008
Lloró	30.91	754	832,416
Medio Atrato	59.65	3,102	3,424,608
Medio Baudó	4.64	0	0
Medio San Juan	40.52	1,631	1,800,624
Novita	43.71	983	1,085,232
Nuqui	0.00	0	0
Río Iro	25.44	616	680,064
Río Quító	4.79	142	156,768
Riosucio	60.17	3,994	4,409,376
San José del Palmar	1.95	12	13,248
Sipi	0.00	0	0
Tadó	5.74	270	298,080
Unguía	29.08	1,064	1,174,656
Unión Panamericana	16.01	330	364,320
Quibdó	0	0	0

Fuentes: Siel.gov.co [8]. IPSE [28]

Tabla 3. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2013

MUNICIPIO	DEFICIT DE COBERTURA (%)	VIVIENDAS SIN SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA	DEMANDA ELECTRICA (Kwh/año)
Acandí	1.19	32	35,328
Alto Baudó	61.32	3,727	4,114,608
Atrato	44.43	958	1,057,632
Bagadó	47.34	909	1,003,536
Bahía Solano	9.52	213	235,152
Bajo Baudó	8.36	599	661,296
Bojayá	55.43	1,190	1,313,760
Cantón de San Pablo	29.30	520	574,080
Carmen del Darién	80.26	976	1,077,504
Certegüi	54.32	1,126	1,243,104
Condoto	2.83	108	119,232
El Carmen de Atrato	50.38	251	277,104
Litoral del San Juan	22.45	657	725,328
Istmina	1.81	145	160,080
Juradó	6.21	77	85,008
Lloró	30.91	754	832,416
Medio Atrato	59.65	3,102	3,424,608
Medio Baudó	4.64	133	146,832
Medio San Juan	40.52	1,631	1,800,624
Novita	43.71	983	1,085,232
Nuqui	0.00	0	0
Río Iro	25.44	616	680,064
Río Quító	4.79	142	156,768
Riosucio	60.17	3,994	4,409,376
San José del Palmar	1.95	12	13,248
Sipi	0.00	0	0
Tadó	5.74	270	298,080
Unguía	29.08	1,064	1,174,656
Unión Panamericana	16.01	330	364,320
Quibdó	0	0	0

Fuente: Siel.gov.co [8]. IPSE [28]

Tabla 4. Cobertura de energía eléctrica del departamento del Chocó – 2014

MUNICIPIO	DEFICIT DE COBERTURA (%)	VIVIENDAS SIN SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA	DEMANDA ELECTRICA (Kwh/año)
Acandí	2.56	100	110,400
Alto Baudó	76.88	4,673	5,158,992
Atrato	41.00	929	1,025,616
Bagadó	46.76	1,033	1,140,432
Bahía Solano	2.71	80	88,320
Bajo Baudó	8.80	655	723,120
Bojayá	29.57	873	963,792
Cantón de San Pablo	19.88	409	451,536
Carmen del Darién	80.26	976	1,077,504
Certegüi	49.22	1,161	1,281,744
Condoto	4.68	216	238,464
El Carmen de Atrato	11.63	247	272,688
Litoral del San Juan	22.45	657	725,328
Istmina	1.92	200	220,800
Juradó	1.63	30	33,120
Lloró	43.36	1,384	1,527,936
Medio Atrato	59.65	3,102	3,424,608
Medio Baudó	40.17	2,062	2,276,448
Medio San Juan	17.70	837	924,048
Novita	42.82	1,187	1,310,448
Nuqui	7.37	166	183,264
Río Iro	18.77	437	482,448
Río Quító	38.81	1,877	2,072,208
Riosucio	60.17	3,994	4,409,376
San José del Palmar	100.00	615	678,960
Sipi	34.10	774	854,496
Tadó	3.36	175	193,200
Unguía	27.28	998	1,101,792
Unión Panamericana	10.97	243	268,272
Quibdó	1.12	501	553,104

Fuente: Siel.gov.co [8]. IPSE [28]

Por otra parte, según los informes suministrados por CODECHOCÓ, los municipios Riosucio y Carmen del Darién se mantuvieron como los principales productores de maderas en el departamento del Chocó, en los años 2012, 2013 y 2014 según la tabla 5, donde en el 2014 Riosucio y Carmen del Darién presentaron una producción de 108,601.3 m³ y 61,844 m³ respectivamente [29], [30].

Tabla 5. Movilización de madera para los años 2012, 2013 y 2014

MUNICIPIO	VOLUMEN [m ³]		
	2012	2013	2014
Riosucio	187,253.72	137,972.51	108,601.3
Carmen del Darién	81,768.3	71,806.15	61,844
Quibdó	33,851.3	46,560.66	59,090.02
Lloró	31,667	25,735.5	21,824
Certégui	31,064	20,171.5	19,309.5
Tadó	29,574	18,705.4	18,682.35
Istmina	26,075	15,496.7	11,276.5
Bojayá	19,124	14,479.25	10,915.5
Atrato	14,663.8	11,175.7	10,656
Acandí	11,739.4	10,282.9	9,309

Fuente: CODECHOCÓ [29], [30]

De acuerdo a los criterios de selección, los municipios del departamento del Chocó que cumplieron con los requisitos para la realización de este estudio, fueron: Riosucio y Carmen del Darién con una demanda de 4,409,376 Kwh/año y 1,077,504 Kwh/año respectivamente; ya que, ambos municipios presentaron una alta demanda de energía eléctrica. Así mismo, ambos municipios mostraron una alta producción de residuos forestales, con lo cual es posible proponer una alternativa

de solución frente a la necesidad de la prestación del servicio de energía eléctrica que presentan ambos municipios.

2.2. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES DE ÁRBOLES

Según la información suministrada por CODECHOCÓ, la cual se encuentra expuesta en la tabla 6, acerca de las principales especies movilizadas en el año 2014 en los municipios de Riosucio y Carmen del Darién, se decidió trabajar con 7 de 20 principales especies de árboles que se encuentran en los dos municipios, los cuales fueron seleccionados por su mayor producción, por ser nativos de la región y por ser explotados cerca de las riberas del río Atrato, lo que facilita su transporte a las cabeceras municipales.

Tabla 6. Principales especies movilizadas en Carmen del Darién y Riosucio

NOMBRE		VOLUMEN [m^3]	
		CARMEN DEL DARIEN	RIOSUCIO
COMÚN	CIENTÍFICO	2014	
CATIVO	<i>Prioria copaifera</i>	12,278	24,970.3
CHOIBÁ	<i>Dipteryx sp</i>	7,107	19,445.5
CARACOLÍ	<i>Anacardium excelsum</i>	5,880.5	13,919
GÚINO	<i>Carapa guianensis</i>	5,559	11,969
ABARCO	<i>Cariniana pyriformis</i>	4,246	6,086
BÁLSAMO	<i>Myrosilum balsamum</i>	3,288	5,903.5
AMARGO	<i>Vatireia sp.</i>	3,191	5,165.5
CAIDITA	<i>Ocotea sp.</i>	3,125	4,940.68
HIGUERÓN	<i>Ficus glabrata</i>	1,718	4,940.68
CEDRO	<i>Cedrela odorata</i>	1,523	3,404

Fuente: CODECHOCÓ [30]

Por estas razones los árboles a los cuales se les decidió realizar el estudio fueron: *Prioria copaifera* (Cativo), *Cariniana pyriformis* (Abarco), *Dipteryx sp.* (Choibá), *Carapa guianensis* (Güino), *Tabebuia rosea* (Roble), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Myrosilum balsamum* (Bálsamo) [30].

Además, se observó que fue movilizado un total de 24,970 m³ de la especie arbórea *Prioria copaifera* (Cativo) para Riosucio y un total de 12,278 m³ para Carmen del Darién, lo que convierte al Cativo en la principal especie movilizada de estos municipios [30].

2.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA BIOMASA RESIDUAL FORESTAL

El contenido de humedad de la biomasa, es la cantidad de agua presente en una muestra. La biomasa que presenta humedad inferior al 50% puede ser aprovechada mediante procesos termoquímicos [24], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39]; pero, para estos procesos es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Por el contrario, si los residuos de biomasa poseen un contenido de humedad superior al 50%, es conveniente aprovecharlos en procesos como fermentación o digestión anaerobia.

En los resultados obtenidos del análisis próximo en base seca aplicado a la biomasa residual forestal, mostrados en la tabla 7, se observa que los residuos de Abarco, Bálsamo y Choibá, poseen un contenido de humedad inferior al 50%, con valores de 21.69%, 15.01% y 30.03%, respectivamente; caso contrario con los resultados de los residuos de Cedro y Güino, quienes presentan porcentajes de humedad superiores al 50%, necesitando así un pretratamiento por su posterior aprovechamiento en procesos termodinámicos.

Por otro lado, el contenido de cenizas de la biomasa corresponde a la cantidad de materia sólida no combustible presente. La biomasa no debe poseer una cantidad de cenizas superior al 5%, ya que causaría daños a los equipos [24], [31], [33], [34].

Igualmente, en los resultados obtenidos, mostrados en la tabla 7, se evidencia que la biomasa residual forestal del Abarco y Caracolí con 27,94% y 25,57%, respectivamente, superan en gran cantidad este porcentaje.

Tabla 7. Análisis próximo en base seca

CANTONERA ASERRÍN	TIPO DE ANÁLISIS			
	Humedad (%)	Sólidos volátiles (%)	Carbono fijo (%)	Cenizas (%)
Cedro	58.42	41.54	41.14	0.60
Roble	55.04	44.15	43.72	0.81
Choibá	30.03	65.52	64.87	1.50
Cativo	41.78	54.24	53.71	2.33
Güino	56.77	38.57	38.23	3.49
Abarco	21.69	50.37	49.94	27.94
Bálsamo	15.01	84.79	83.94	1.90

Según los resultados obtenidos, los residuos de la biomasa residual forestal presentaron un valor promedio, de sólidos volátiles, de 54.17%. Basado en los estudios citados en este documento, los residuos de biomasa que poseen un alto contenido de sólidos volátiles combustionan más fácilmente; sin embargo, cuando el porcentaje de sólidos volátiles es bajo, es necesario realizar un precalentamiento más alto a la biomasa [24], [34], [35], [36].

Así mismo, la cantidad de carbono fijo presente en el análisis de la biomasa residual forestal arrojó un valor promedio de 47.24%. Dicho resultado corrobora lo expuesto por diversos estudios [24], [37], [38], en que la cantidad de carbono fijo debe ser proporcional a la de volátiles presentes en la biomasa, ya que de estos se puede establecer la facilidad con la cual el residuo reacciona, se oxida o se gasifica.

Por otro lado, la biomasa está constituida por un 90% de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo esta última más relevante, ya que, indica la rigidez estructural que presenta la madera [24], [32], [33], [36]. El porcentaje de lignina, se presenta en un rango de 15% - 25%, aunque para especies que se encuentren en una zona tropical, como es la zona en la cual se realiza este estudio, este porcentaje es superior, tal como se evidencia en los resultados del análisis estructural de los residuos forestales, mostrados en la tabla 8. Sin embargo, en el Cativo, se observa un porcentaje de lignina menor que el resto de los residuos de biomasa con un 20.20%.

Tabla 8. Análisis Estructural

CANTONERA ASERRÍN	TIPO DE ANÁLISIS		
	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
Cedro	30.91	45.08	6.20
Roble	29.99	48.40	5.89
Choibá	26.01	36.62	8.91
Cativo	20.20	46.52	11.45
Güino	26.20	43.70	8.68
Abarco	27.52	54.06	3.23
Bálsamo	23.58	36.03	13.54

Por su parte, en los resultados obtenidos del análisis elemental se puede observar que los residuos presentan porcentajes bajos de azufre (S) y nitrógeno (N), lo que permite considerar que dichos residuos puedan ser aprovechados en procesos termoquímicos, debido a que el azufre es un elemento perjudicial y contaminante, y el nitrógeno a pesar de que no aporte energía, debe tener una cantidad baja para que no se produzcan NOx de origen térmico. Por lo que es importante que los porcentajes de S y N obtenidos hayan sido bajos en cada una de las biomásas [32], [33], [39].

Los combustibles fósiles como el carbón del Cerrejón y Diésel, poseen un alto contenido energético, lo cual se debe a la presencia de abundantes enlaces C-C. El análisis último de la biomasa residual forestal, mostrado en la tabla 9, indica que estos residuos poseen altos contenidos de oxígeno e hidrógeno con valores promedio de 40.77% y 5.85%, respectivamente, y bajos contenidos de carbono con un promedio de 47.25%. Varios estudios afirman que el contenido de carbono presente en la biomasa debe estar en un rango de 30% a 60%, el de hidrógeno entre 5% a 6%, y el de oxígeno entre 30% a 45% [17], [24], [37], [38], [39].

Tabla 9. Análisis último en base seca

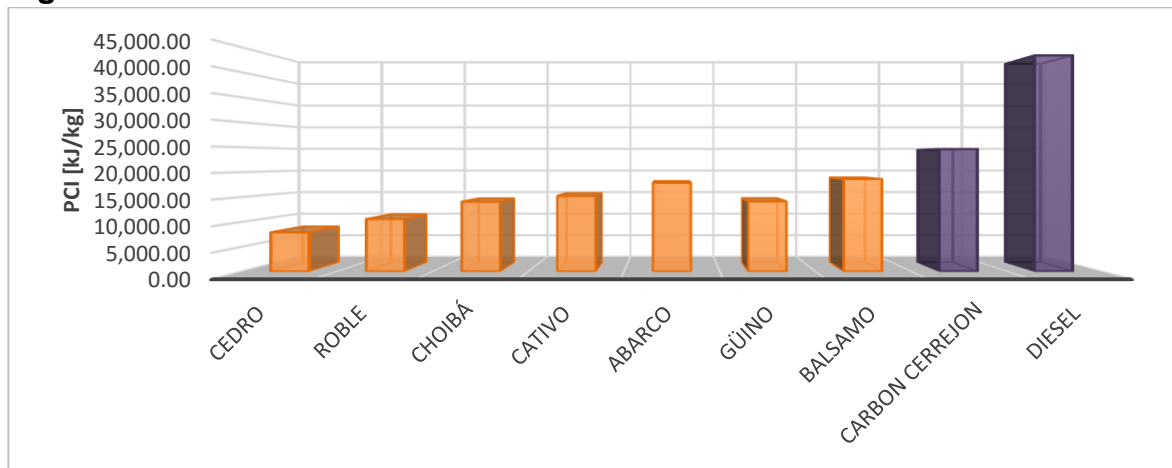
CANTONERA ASERRÍN	TIPO DE ANÁLISIS				
	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Oxígeno (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)
Cedro	49.09	6.00	41.14	0.80	0.12
Roble	48.59	5.91	41.30	0.96	0.11
Choibá	45.63	5.75	40.49	0.88	0.12
Cativo	46.71	6.07	43.30	0.88	0.11
Güino	46.90	5.82	41.31	1.20	0.12
Abarco	46.89	5.69	39.07	0.72	0.10
Bálsamo	44.97	5.76	40.90	0.88	0.10

Basados en lo anterior, la biomasa residual analizada se encuentra dentro de los rangos establecidos para los contenidos de carbono, hidrógeno y oxígeno.

Así mismo, el número de enlaces C-O y C-H, en la estructura molecular de la biomasa, son los responsables del valor de su PCI. La biomasa residual forestal presenta valores de PCI que oscilan entre 7,876.1 kJ/kg y 18,613.4 kJ/kg, como se evidencia en la figura 2; sin embargo, estos valores de PCI son menores en comparación con el PCI del carbón del Cerrejón con 24,655.60 kJ/kg y del Diésel

con 43,400 kJ/kg, lo cual indica que la cantidad de energía que pueden entregar los residuos siempre será menor que la de estos combustibles [9], [17], [32], [33].

Figura 2. Poder Calórico Inferior calculado de la biomasa residual forestal



Teniendo en cuenta la humedad y el PCI, los residuos forestales que mejores resultados presentaron fueron el Bálsamo, Abarco y Cativo. Es importante considerar dichos residuos, ya que influyen en la cantidad de potencial energético que se pueda utilizar en la generación de energía eléctrica.

2.4. CÁLCULO DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

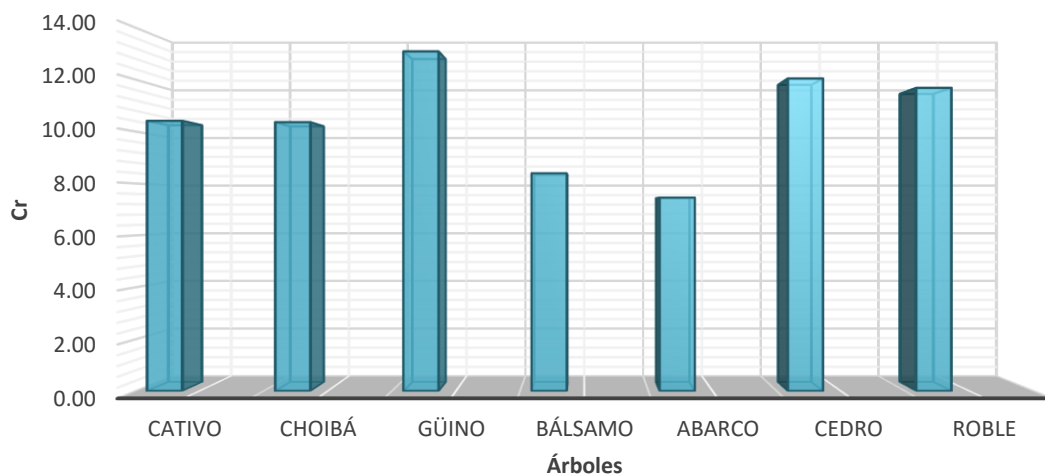
Para calcular relación residuo a producto forestal, C_r , se tuvo en cuenta las ecuaciones 3, 4, 5, 6 y 7 Considerando los parámetros presentados en el anexo C.

Según la información suministrada por CODECHOCÓ, en los últimos tres años el bloque es el producto principal; puesto que representa el 90% del producto extraído de un árbol en la región [30]. Teniendo en cuenta lo anterior, para el cálculo C_r se consideraron las dimensiones expuestas en el Anexo C (largo, ancho y espesor).

Las dimensiones y la cantidad de bloques que se pueden sacar por árbol fue información suministrada por aserradores consultados en la región; ya que, no existe un documento gubernamental o material bibliográfico que brinde dicha información, no por ello esta pierde su importancia.

En la figura 3 se puede observar los resultados obtenidos de C_r para cada árbol con un rango entre 7.45 – 13.09, donde el árbol con mayor cantidad de residuos generados es el Güino con C_r 13.09; esto debido a que sus dimensiones, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y la altura comercial, son las más grandes comparado con las otras especies de estudio; por lo que, por cada tonelada de producto principal (bloque) que se extrae de un árbol de Güino se generan 13.09 toneladas de residuo [40], [41].

Figura 3. Relación residuo a producto forestal, C_r

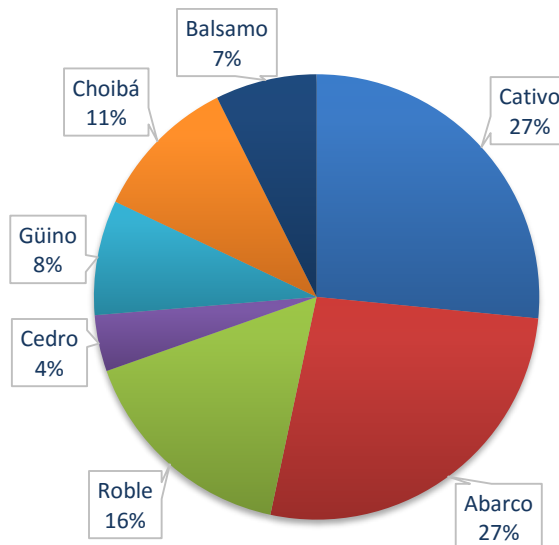


En el Anexo D, se presentan los resultados del cálculo del Potencial Energético (PE), teórico y técnico de las ocho especies de estudio para los municipios de Carmen del Darién y Riosucio.

En la Tabla 17 del Anexo D, se observa que el municipio de Riosucio cuenta con un potencial técnico energético de 3,932.96 TJ/año; de igual forma, en la Tabla 18, del mismo anexo, se observa que el municipio de Carmen del Darién cuenta con un potencial técnico energético de 1,914.52 TJ/año.

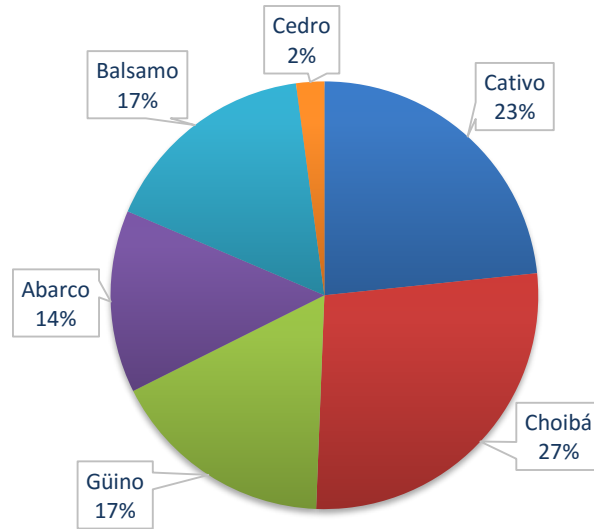
En la figura 4, se observa que los residuos que ofrecen un mayor porcentaje de potencial energético en el municipio de Riosucio, son los generados por el Abarco y el Cativo, con un aporte de 27% cada uno; a su vez, los residuos forestales del Cedro aportan un 4% al potencial técnico total de Riosucio.

Figura 4. Potencial Técnico Energético del municipio de Riosucio



De igual forma, en la figura 5 se aprecia que, de 1,914.52 TJ/año con los que cuenta el municipio de Carmen del Darién, un 27% corresponde a los residuos forestales generados por el Choibá y un 2% a los generados por el Cedro. Con lo cual, se puede evidenciar que, al igual que en el municipio de Riosucio, el Cedro es el árbol que menos porcentaje aporta a los potenciales de estos dos municipios.

Figura 5. Potencial Técnico Energético del municipio de Carmen del Darién



2.5. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA

El cálculo de la energía eléctrica y potencia instalada se realizó con las ecuaciones 8 y 9, cuyos resultados se observan en el Anexo E.

En la tabla 20 del Anexo E se observa que, con los residuos forestales de las especies en estudio, el municipio de Carmen del Darién podría generar 132,952.72 MWh para el año 2014, que, según la demanda eléctrica para ese año, ésta generación cubriría el 100% de las viviendas que no cuentan con energía eléctrica.

Así mismo, en la tabla 21 se observa que el municipio de Riosucio podría generar 237,907.62 MWh para el año 2014, lo que permitiría abastecer de energía eléctrica el 100% de las viviendas que no cuentan con éste servicio.

3. CONCLUSIONES

- Se estimó que el municipio de Carmen del Darién genera 253,149.62 t de residuos forestales, los cuales ofrecen un potencial energético técnico de 1,914.52 TJ para el año 2014; así mismo, el municipio de Riosucio genera 551,126.46 t de residuos forestales que ofrecen un potencial técnico de 3,932.96 TJ para el año 2014.
- Para el municipio de Carmen del Darién, los residuos forestales generados por el Choibá brindan un alto potencial técnico energético, con un valor de 5,219.74 TJ, lo que corresponde al 27% del potencial total. Por otro lado, para el municipio de Riosucio, los residuos forestales del Abarco y el Cativo comprenden un 46%, lo que permite considerar que este tipo de residuos genera un mayor potencial técnico energético.
- El uso bioenergético de los residuos forestales de los municipios de Carmen del Darién y Riosucio permitirían suplir la latente necesidad y demanda de energía eléctrica, con un cubrimiento de 100%, brindando con ello el servicio de energía eléctrica a las viviendas que carezcan de este servicio en dichos municipios.

4. RECOMENDACIONES

- Es necesario desarrollar un modelo matemático que se ajuste al proceso de extracción de la madera, ya que este proceso se ha llevado a cabo de manera empírica sin ajustarse a alguna técnica o alguna norma ya que, en Colombia no se cuenta con dicha técnica o norma que se aplique a este tipo de proceso. Debido a esta falencia fue difícil obtener información precisa sobre la cantidad de residuos madereros de la zona, lo que dificultó el cálculo de la variable Cr.
- En Colombia es necesario desarrollar planes de acción orientados hacia el fortalecimiento del ordenamiento territorial, en aras de la producción forestal permanente. Así mismo, es preciso establecer programas de participación comunitaria para mejorar la calidad de vida del ser humano, en equilibrio armónico con el ambiente, sobre todo en las ZNI; todo esto enfocado a la silvicultura, con el fin de velar por la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SANTAMARTA, José. La eficiencia energética: Crisis energética: ¿Más fuentes de energía o decrecimiento? La energía condiciona nuestras vidas y la política internacional, y es el principal factor de la degradación ambiental. En: World Watch: La Información vital del planeta. No. 26 (2007). p 36-41

[2] BUSTOS GONZÁLEZ, Juan Felipe. SEPÚLVEDA, Andrés. APONTE, Kevin. Zonas No Interconectadas Eléctricamente en Colombia: Problemas y Perspectiva. En: Econógrafos Escuela de Economía. No. 65 (febrero de 2014)

[3] ESTEVE GÓMEZ, Natalia. Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica. Bogotá 2011. Trabajo de grado para optar el título de Magister en Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Maestría en Gestión Ambiental. Disponible en:
<<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/6078/1/tesis121.pdf>>

[4] INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS (IPSE) [en línea]. <<http://www.ipse.gov.co/informacion-institucional/ipse>> [citado en 25 de septiembre de 2015]

[5] SISTEMA DE INFORMACIÓN ELÉCTRICO COLOMBIANO, SIEL. Demanda real [en línea]. <<http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2FSIEL+UPME%2FDemanda%2FDemanda+%28Gerencial%29>> [citado en 26 de octubre de 2015]

[6] UASUF, A. & HILBERT, J. (2012). El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a bioenergía en la Argentina. Castelar Bs. As. Argentina

[7] CASTRO, Eduardo Javier. Evaluación de un proyecto de inversión forestal, para el abastecimiento de una planta de cogeneración energética en el Dpto. Calamuchita- Córdoba. Córdoba, 2014. Trabajo final de aplicación (Maestría en dirección de negocios). Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Graduados en Ciencias Económicas

[8] SHONHIWA, Chipo. An assessment of biomass residue sustainably available for thermochemical conversion to energy in Zimbabwe. En: Biomass and Bioenergy [base de datos en línea]. No. 52 (2013); pag. 131-138 [citado en 09 de marzo de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

[9] GÓMEZ GONZÁLES, Manuel. Sistema de generación eléctrica con pila de combustible de óxido sólido alimentado con residuos forestales y su optimización mediante algoritmos basados en nubes de partículas; Biomasa, Gasificación y Residuos Forestales, Capítulo 4. 2008. Tesis doctoral (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control

[10] GONZALEZ SALAZAR, Miguel Ángel. Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. En: Applied Energy. [Base de datos en línea]. No. 136 (2014); pag. 781-796 [citado en 20 de abril de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

[11] VIÑA LÓPEZ, Fabián. Potencial energético de la biomasa residual vegetal (brv) del sector arrocero en Colombia [en línea]. < www.porthuseventos.com.br > [citado en 9 de octubre de 2015]

[12] DIRECCIÓN DE PRODUCTOS Y ECONOMÍA FORESTALES DEPARTAMENTO FORESTAL FAO. Tendencias históricas y la situación actual del sector forestal [en línea]. <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0470s/a0470s00.pdf>> [citado en 17 de septiembre de 2015]

[13] KLINE, Keith. PERLACK, Robert. Gbadebo. Biofuel Feedstock Assessment for Selected Countries: To Support the DOE study of Worldwide Potential to Produce Biofuels with a focus on U.S. Imports. Oak Ridge National Laboratory. (2008)

[14] GOBERNACIÓN DEL CHOCÓ. Información general [en línea]. <http://www.choco.gov.co/informacion_general.shtml#arriba>

[15] DEPÓSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO. Estado actual de la información sobre recursos forestales y cambio en el uso de la tierra (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - (IDEAM), consultores FAO) [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/006/ad392s/ad392s10.htm>> [consultado en 17 de septiembre de 2015]

[16] BARRERA OTÁLORA, Jorge Augusto. Briquetas: La Mejor Forma de Reutilizar los Residuos Forestales. En: Revista M&M. No. 69 (2010). P 66-72

[17] QUINTERO, Camilo. Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia, Resumen ejecutivo. Revisión 01. Aene Consultorias S.A, 2003. 142 p. Unidad de Planeación Minero Energético-UPME. N°: anc-631 – 03

[18] FUNDACION CIRCE. Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca. 30 de mayo de 2006. Informe final. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Beca de Investigación Félix de Azara. Disponible en: <http://circe.cps.unizar.es/acvcoco/es/pdf/6doc_3.pdf>

[19] GARCÍA MARTÍN, Alberto. PÉREZ CABELLO, Fernando. DE LA RIVA FERNÁNDEZ, Juan. Evaluación de los recursos de biomasa residual forestal mediante imágenes del satélite Landsat y SIG. En: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N° 6, (2006); p. 205-230. ISSN: 1578-5157

[20] SPICHIGER, José Bertrán. MORALES VERDUGO, Eduardo. Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile / Proyecto Energías Renovables no Convencionales en Chile (CNE/GTZ). Santiago, Chile, Comisión Nacional de Energía, 2008. P. 56. ISBN: 978-956-7700-10-3

[21] TURRADO FERNANDEZ, Sandra. Analysis of forest residual biomass potential for bioenergy production in Spain. [Base de datos en línea]. 2015; P. 10 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en Springer

[22] LOURINHO, Goncalo. Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo). En: Energy [base de datos en línea]. N° 81, (2015); p. 189-201 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

[23] ROBERTS, Justo José. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews [base de datos en línea]. N° 41, (2015); p 568-583 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

[24] MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. En: Bioresource Technology [base de datos en línea]. No. 83 (2002); pag. 37-46 [citado en 21 de septiembre de 2015] Disponible en Elsevier

[25] MEDINA ARROYO, Henry Hernán. MARTÍNEZ GUARDIA, Melida. 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. En: NOVA: Publicación Científica en Ciencias Biomédicas [en línea]. No. 8 (2007) <http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/nova8_artorig5.pdf> [citado en 05 de octubre de 2015]. ISSN: 1794-2470

[26] FLANDES INZUNZA, Cristian Rolando. Potencial de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales producto de manejo en *Pinus radiata*, XIV Región de Los Ríos y X Región de Los Lagos. Valdivia, 2012. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

[27] CERDÁ, Emilio. Energía obtenida a partir de biomasa. En: Universidad Complutense de Madrid. Revista ICE. No. 83. (2009) [citado en 30 de noviembre de 2015]

[28] Centro Nacional De Monitoreo – IPSE. Demanda histórica eléctrica de ZNI del Chocó [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 18 de junio de 2015 [citado en 02 de octubre de 2015]. Comunicación personal

[29] IBARGUEN MOSQUERA, Yoileth. El aprovechamiento forestal en el departamento del choco [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 30 de mayo de 2015 [citado en 5 de octubre de 2015] Comunicación personal

[30] _____. Informe movilización por año CODECHOCÓ [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 12 de junio de 2015 [citado en 10 de octubre de 2015] Comunicación personal

[31] PATIÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa Residual Vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. Innovaciencia facultad cienc. exactas fis. naturales. 2014; 2(1); pag. 45 – 52

[32] ESCALANTE HERNÁNDEZ, Humberto. Anexo A Biomasa, fuente renovable de energía. En: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9

[33] _____ Anexo B Muestreo y Caracterización de la Biomasa Residual en Colombia. En: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9

[34] UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEDELLÍN. Análisis próximos [en línea]. <http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis_proximos.htm#Cenizas> [citado en 5 de octubre de 2015]

[35] MIRANDA CAICEDO, Ingrid Johana. AMARIS RINCON, Olga Lucía. Aprovechamiento del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma en Colombia. Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química

[36] NANDA, Sonil. DALAI, Ajay. Forestry Biomass in a Bioenergy Perspective. En: Emerging Area Contributions: Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes [en línea]. Vol. 3, No. 6 (2013) [citado en 25 de octubre de 2015]

[37] BARAJAS PEÑARADA, Fabián Yesid. Diseño y construcción de un gasificador para el aprovechamiento energético de la biomasa residual forestal de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica

[38] ROJAS PUERTO, Edwin Gustavo. Evaluación tecnológica y diseño conceptual de una planta para el aprovechamiento del potencial energético de los residuos del café. Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química

[39] DE OLIVERA, Jofran Luiz. DA SILVA, Jadir Nogueira. Characterization and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews [Base de datos]. No. 21 (2013). Pag. 52-58 [citado en 25 de octubre 2015]. Disponible en: SciVerse ScienceDirect

[40] FEARNSIDE, Philip. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. En: Forest Ecology and Management [Base de datos]. No. 90 (1997). Pag. 59-87 [citado en 02 de julio de 2015]. Disponible en: Elsevier

[41] UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN. Laboratorio de Productos Forestales [en línea]. <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html> [citado en 05 de julio de 2015]

[42] BARRENCE, A. BEER, J. Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas Centroamérica: OFI/CATIE, 2003. Pag. 1077. ISBN: 0-85074-161-0

BIBLIOGRAFIA

BARAJAS PEÑARADA, Fabián Yesid. Diseño y construcción de un gasificador para el aprovechamiento energético de la biomasa residual forestal de la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2013. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica

BARRENCE, A. BEER, J. Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas Centroamérica: OFI/CATIE, 2003. Pag. 1077. ISBN: 0-85074-161-0

BARRERA OTÁLORA, Jorge Augusto. Briquetas: La Mejor Forma de Reutilizar los Residuos Forestales. En: Revista M&M. No. 69 (2010). P 66-72

BUSTOS GONZÁLEZ, Juan Felipe. SEPÚLVEDA, Andrés. APONTE, Kevin. Zonas No Interconectadas Eléctricamente en Colombia: Problemas y Perspectiva. En: Econógrafos Escuela de Economía. No. 65 (febrero de 2014)

CASTRO, Eduardo Javier. Evaluación de un proyecto de inversión forestal, para el abastecimiento de una planta de cogeneración energética en el Dpto. Calamuchita-Córdoba. Córdoba, 2014. Trabajo final de aplicación (Maestría en dirección de negocios). Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Económicas. Escuela de Graduados en Ciencias Económicas

CERDÁ, Emilio. Energía obtenida a partir de biomasa. En: Universidad Complutense de Madrid. Revista ICE. No. 83. (2009) [citado en 30 de noviembre de 2015]

CENTRO NACIONAL DE MONITOREO – IPSE. Demanda histórica eléctrica de ZNI del Chocó [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 18 de junio de 2015 [citado en 02 de octubre de 2015]. Comunicación personal

DE OLIVERA, Jofran Luiz. DA SILVA, Jadir Nogueira. Caracterización and mapping of waste from coffee and eucalyptus production in Brazil for thermochemical conversion of energy via gasification. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews [Base de datos]. No. 21 (2013). Pag. 52-58 [citado en 25 de octubre 2015]. Disponible en: SciVerse ScienceDirect

DEPÓSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO. Estado actual de la información sobre recursos forestales y cambio en el uso de la tierra (instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - (IDEAM), consultores FAO) [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/006/ad392s/ad392s10.htm>> [consultado en 17 de septiembre de 2015]

DIRECCIÓN DE PRODUCTOS Y ECONOMÍA FORESTALES DEPARTAMENTO FORESTAL FAO. Tendencias históricas y la situación actual del sector forestal [en línea]. <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0470s/a0470s00.pdf>> [citado en 17 de septiembre de 2015]

ESCALANTE HERNÁNDEZ, Humberto. Anexo A Biomasa, fuente renovable de energía. En: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9

_____. Anexo B Muestreo y Caracterización de la Biomasa Residual en Colombia. En: Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia. ISBN: 978-958-8504-59-9

ESTEVE GÓMEZ, Natalia. Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica. Bogotá 2011. Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Gestión Ambiental. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Maestría en Gestión Ambiental. Disponible en: <<http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/6078/1/tesis121.pdf>>

FEARNSIDE, Philip. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. En: Forest Ecology and Management [Base de datos]. No. 90 (1997). Pag. 59-87 [citado en 02 de julio de 2015]. Disponible en: Elsevier

FLANDES INZUNZA, Cristian Rolando. Potencial de generación de energía eléctrica a partir de residuos forestales producto de manejo en *Pinus radiata*, XIV Región de Los Ríos y X Región de Los Lagos. Valdivia, 2012. Trabajo de grado (Ingeniero Forestal). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

FUNDACION CIRCE. Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca. 30 de mayo de 2006. Informe final. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Beca de Investigación Félix de Azara. Disponible en: <http://circe.cps.unizar.es/acvcoco/es/pdf/6doc_3.pdf>

GARCÍA MARTÍN, Alberto. PÉREZ CABELLO, Fernando. DE LA RIVA FERNÁNDEZ, Juan. Evaluación de los recursos de biomasa residual forestal mediante imágenes del satélite Landsat y SIG. En: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N° 6, (2006); p. 205-230. ISSN: 1578-5157

GOBERNACIÓN DEL CHOCÓ. Información general [en línea]. <http://www.choco.gov.co/informacion_general.shtml#arriba>

GÓMEZ GONZÁLES, Manuel. Sistema de generación eléctrica con pila de combustible de óxido sólido alimentado con residuos forestales y su optimización mediante algoritmos basados en nubes de partículas; Biomasa, Gasificación y Residuos Forestales, Capítulo 4. 2008. Tesis doctoral (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional de Educación a Distancia. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Control

GONZALEZ SALAZAR, Miguel Ángel. Methodology for estimating biomass energy potential and its application to Colombia. En: Applied Energy. [Base de datos en línea]. No. 136 (2014); pag. 781-796 [citado en 20 de abril de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

IBARGUEN MOSQUERA, Yoileth. El aprovechamiento forestal en el departamento del choco [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 30 de mayo de 2015 [citado en 5 de octubre de 2015] Comunicación personal

_____. Informe movilización por año CODECHOCÓ [correo electrónico]. Mensaje enviado a: Luz Teresa AGÁMEZ HERNÁNDEZ. 12 de junio de 2015 [citado en 10 de octubre de 2015] Comunicación personal

INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS (IPSE) [en línea]. <<http://www.ipse.gov.co/informacion-institucional/ipse>> [citado en 25 de septiembre de 2015]

KLINE, Keith. PERLACK, Robert. Gbadebo. Biofuel Feedstock Assessment for Selected Countries: To Support the DOE study of Worldwide Potential to Produce Biofuels with a focus on U.S. Imports. Oak Ridge National Laboratory. (2008)

LOURINHO, Goncalo. Assessment of biomass energy potential in a region of Portugal (Alto Alentejo). En: Energy [base de datos en línea]. N° 81, (2015); p. 189-201 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

MCKENDRY, Peter. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. En: Bioresource Technology [base de datos en línea]. No. 83 (2002); pag. 37-46 [citado en 21 de septiembre de 2015] Disponible en Elsevier

MEDINA ARROYO, Henry Hernán. MARTÍNEZ GUARDIA, Melida. 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. En: NOVA: Publicación Científica en Ciencias Biomédicas [en línea]. No. 8 (2007). <http://www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/nova8_artorig5.pdf> [citado en 05 de octubre de 2015]. ISSN: 1794-2470

MIRANDA CAICEDO, Ingrid Johana. AMARIS RINCON, Olga Lucía. Aprovechamiento del potencial energético de la biomasa residual obtenida de la extracción del aceite de palma en Colombia. Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química

NANDA, Sonil. DALAI, Ajay. Forestry Biomass in a Bioenergy Perspective. En: Emerging Area Contributions: Journal of Science & Technology for Forest Products and Processes [en línea]. Vol. 3, No. 6 (2013) [citado en 25 de octubre de 2015]

PATÍÑO MARTÍNEZ, Pedro Elías. Biomasa Residual Vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. Innovaciencia facultad cienc. exactas fis. naturales. 2014; 2(1); pag. 45 – 52

QUINTERO, Camilo. Potencialidades de los cultivos energéticos y residuos agrícolas en Colombia, Resumen ejecutivo. Revisión 01. Aene Consultorias S.A, 2003. 142 p. Unidad de Planeación Minero Energético-UPME. N°: anc-631 – 03

ROBERTS, Justo José. Assessment of dry residual biomass potential for use as alternative energy source in the party of General Pueyrredón, Argentina. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews [base de datos en línea]. N° 41, (2015); p 568-583 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

ROJAS PUERTO, Edwin Gustavo. Evaluación tecnológica y diseño conceptual de una planta para el aprovechamiento del potencial energético de los residuos del café. Bucaramanga, 2009. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química

SANTAMARTA, José. La eficiencia energética: Crisis energética: ¿Más fuentes de energía o decrecimiento? La energía condiciona nuestras vidas y la política internacional, y es el principal factor de la degradación ambiental. En: World Watch: La Información vital del planeta. No. 26 (2007). p 36-41

SHONHIWA, Chipso. An assessment of biomass residue sustainably available for thermochemical conversion to energy in Zimbabwe. En: Biomass and Bioenergy [base de datos en línea]. No. 52 (2013); pag. 131-138 [citado en 09 de marzo de 2015]. Disponible en SciVerse ScienceDirect

SISTEMA DE INFORMACIÓN ELÉCTRICO COLOMBIANO, SIEL. Demanda real [en línea]. <<http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2FSIEL+UPME%2FDemanda%2FDemanda+%28Gerencial%29>> [citado en 15 de octubre de 2015]

SPICHIGER, José Bertrán. MORALES VERDUGO, Eduardo. Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile / Proyecto Energías Renovables no Convencionales en Chile (CNE/GTZ). Santiago, Chile, Comisión Nacional de Energía, 2008. P. 56. ISBN: 978-956-7700-10-3

TURRADO FERNANDEZ, Sandra. Analysis of forest residual biomass potential for bioenergy production in Spain. [Base de datos en línea]. 2015; P. 10 [Citado en 15 de septiembre de 2015]. Disponible en Springer

Uasuf, A. & Hilbert, J. (2012). El uso de la biomasa de Origen Forestal con destino a bioenergía en la Argentina. Castelar Bs. As. Argentina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN. Laboratorio de Productos Forestales [en línea]. <<http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html>> [citado en 05 de julio de 2015]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MEDELLÍN. Análisis próximos [en línea]. <http://www.unalmed.edu.co/~ctcarbon/analisis_proximos.htm#Cenizas> [citado en 5 de octubre de 2015]

VIÑA LÓPEZ, Fabián. Potencial energético de la biomasa residual vegetal (brv) del sector arrocero en Colombia [en línea]. < www.porthuseventos.com.br > [citado en 9 de octubre de 2015]

ANEXOS

Anexo A. Métodos y técnicas utilizadas por el laboratorio Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

DETERMINACIÓN DE LIGNINA	
$((FDA) - 0,8 * (Proteína\ cruda) - 0,4 * (Extracto\ etéreo)) - (FDK)$	
Método	Técnica
FDA (Fibra detergente ácida): AOAC 973,18	Gravimetría
Proteína Cruda: AOAC 960,52 y AOAC 2001,11 modificado	Volumétrica
Extracto Etéreo: AOAC 2003,06	Gravimetría
FDK (Fibra bruta): LBC 48 (método interno)	Gravimetría

DETERMINACIÓN DE CELULOSA	
$(FDK) - (Sílice) - 0,2 * (Cenizas - Sílice)$	
Método	Técnica
FDK (Fibra bruta): LBC 48 (método interno)	Gravimetría

DETERMINACIÓN DE HEMICELULOSA	
$(FDN) - (FDA) - 0,4 * (Cenizas - Sílice) - 0,4 * (Extracto etéreo) - 0,1 * (Proteína cruda)$	
Método	Técnica
FDN (Fibra detergente neutra): AOAC 2002,04	Gravimetría
FDA (Fibra detergente ácida): AOAC 973,18	Gravimetría
Extracto Etéreo: AOAC 2003,06	Gravimetría
Proteína Cruda: AOAC 960,52 y AOAC 2001,11 modificado	Volumetría

CÁLCULO DEL ANÁLISIS ELEMENTAL		
Elemento	Método	Técnica
Nitrógeno	LBC 7 KJELDAHL	Volumetría
Carbono	NTC 5167 WALKLEY BLACK	---
Azufre	NTC 1174	Turbidimetría
Hidrogeno	---	Análisis estequiométrico
Oxígeno	---	Análisis estequiométrico

Anexo B. Métodos utilizados por el grupo CIBIOT de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín.

ANÁLISIS PRÓXIMO	
Análisis	Método
Humedad	Norma 2540B de la APHA
Sólidos Volátiles	Norma ASTM D3174
Cenizas	Norma ASTM D3174
Carbono fijo	Norma ASTM D3174

ANÁLISIS ENERGÉTICO	
Análisis	Método
Poder Calórico Inferior	Bomba calorimétrica. Norma ASTM D2015-89(00)

Anexo C. Cálculo de la relación residuo a producto forestal – Cr

CÁLCULO DE LA VARIABLE Cr							
Especie	Dimensiones bloque (m)			Volumen bloque [m ³]	Densidad básica [kg/m ³]	# de bloques/árbol	Peso total producto principal [kg]
	Ancho	Espesor	Largo				
CATIVO	0.254	0.1016	4.5	0.1161288	930 ^{a,b}	20	2,160.00
CHOIBÁ	0.1524	0.1524	3	0.06967728	1140 ^{a,b}	30	2,382.96
GÜINO	0.3048	0.1016	4.5	0.13935456	870 ^{a,b}	8	969.91
BÁLSAMO	0.1524	0.1524	3	0.06967728	1010 ^{a,b}	30	2,111.22
ABARCO	0.2032	0.1016	4.5	0.09290304	960 ^{a,b}	100	8,918.69
CEDRO	0.1778	0.2032	3	0.10838688	690 ^{a,b}	5	373.93
ROBLE	0.1778	0.2032	3	0.10838688	950 ^{a,b}	4	411.87

^a FEARNSIDE, (1997) [40]

^b UNALMED, Laboratorio de productos [41]

^c BARRENCE, (2003) [42]

CÁLCULO DE LA VARIABLE Cr (Continuación)					
Especie	DAP [m]	Altura comercial [m]	Volumen total [m³]	Peso total árbol [kg]	Cr [tonelada residuo/ tonelada producto principal]
CATIVO	1.5 ^{b,c}	15 ^{b,c}	26.51	24,651.68	10.41
CHOIBA	1.2 ^{b,c}	21 ^{b,c}	23.75	27,075.50	10.36
GÜINO	1.0 ^{b,c}	20 ^{b,c}	15.71	13,665.93	13.09
BALSAMO	1.0 ^{b,c}	25 ^{b,c}	19.63	19,831.30	8.39
ABARCO	2.0 ^{b,c}	25 ^{b,c}	78.54	75,398.22	7.45
CEDRO	0.6 ^{b,c}	25 ^{b,c}	7.07	4,877.32	12.04
ROBLE	0.5 ^{b,c}	28 ^{b,c}	5.50	5,222.90	11.68
π		3.1416			

^a FEARNSIDE, (1997) [40]

^b UNALMED, Laboratorio de productos [41]

^c BARRENCE, (2003) [42]

Anexo D. Cálculo del Potencial Energético (PE)

POTENCIAL TEÓRICO Y TÉCNICO ENERGÉTICO DEL MUNICIPIO DE RIOSUCIO							
Especie	Volumen movilizado [m ³]	Densidad en base seca [kg/m ³]	Cr	LHV [kJ/kg]	PE [TJ/año]	a _r (%)	PE ^T [TJ/año]
Cativo	24,970.00 ^a	460.00 ^{b,c,d}	10.41	15,208.45	1,818.49	0.50 ^{e,f,g}	909.25
Abarco	19,445.00 ^a	710.00 ^{b,c,d}	7.45	17,846.44	1,835.58	0.50 ^{e,f,g}	917.80
Roble	13,919.00 ^a	650.00 ^{b,c,d}	11.68	10,552.00	1,115.06	0.50 ^{e,f,g}	557.53
Cedro	5,904.00 ^a	500.00 ^{b,c,d}	12.04	7,877.39	279.98	0.50 ^{e,f,g}	139.99
Güino	5,166.00 ^a	600.00 ^{b,c,d}	13.09	14,090.91	571.72	0.50 ^{e,f,g}	285.86
Choibá	4,941.00 ^a	1,010.00 ^{b,c,d}	10.36	14,038.21	725.78	0.50 ^{e,f,g}	362.89
Bálsamo	3,404.00 ^a	950.00 ^{b,c,d}	8.39	18,617.22	505.11	0.50 ^{e,f,g}	252.56
TOTAL PE		6,851.72		TOTAL PE^T		3,425.88	

^a CODECHOCÓ [29], [30]

^b FEARNSIDE, (1997) [40]

^c UNALMED, Laboratorio de productos [41]

^d BARRENCE, (2003) [42]

^e GÓMEZ GONZÁLEZ, (2008) [9]

^f QUINTERO, (2003) [17]

^g SPICHIGER, (2008)[20]

POTENCIAL TEÓRICO Y TÉCNICO ENERGÉTICO DEL MUNICIPIO DE CARMEN DEL DARIÉN							
Especie	Volumen movilizado [m³]	Densidad en base seca [kg/m³]	Cr	LHV [kJ/kg]	PE [TJ/año]	a_r (%)	PE^T [TJ/año]
Cativo	12,278 ^a	460 ^{b,c,d}	10.41	15208.45	894.17	0.50 ^{e,f,g}	447.09
Choibá	7,107 ^a	1,010 ^{b,c,d}	10.36	14038.21	1,043.95	0.50 ^{e,f,g}	521.97
Güino	5,881 ^a	600 ^{b,c,d}	13.09	14090.91	650.85	0.50 ^{e,f,g}	325.42
Abarco	5,599 ^a	710 ^{b,c,d}	7.45	17846.44	528.54	0.50 ^{e,f,g}	264.27
Bálsamo	4,246 ^a	950 ^{b,c,d}	8.39	18617.22	630.06	0.50 ^{e,f,g}	315.03
Cedro	1,718 ^a	500 ^{b,c,d}	12.04	7877.39	81.47	0.50 ^{e,f,g}	40.73
TOTAL PE		3,829.04		TOTAL PE^T		1,914.51	

^a CODECHOCÓ [29], [30]

^d BARRENCE, (2003) [42]

^g SPICHIGER, (2008)[20]

^b FEARNSIDE, (1997) [40]

^e GÓMEZ GONZÁLEZ, (2008) [9]

^c UNALMED, Laboratorio de productos [41]

^f QUINTERO, (2003) [17]

Anexo E. Estimación de la Energía Eléctrica y Potencia Instalada

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA PARA EL MUNICIPIO DE CARMEN DEL DARIÉN			
Especie	PE^T [TJ/año]	PG [MWh/año]	
Cativo	447.09	31,047.65	
Choibá	521.97	36,248.22	
Güino	325.42	22,598.97	
Abarco	264.27	18,352.03	
Bálsamo	315.03	21,877.01	
Cedro	40.73	2,828.85	
		132,952.72	\sum PG
n	0.25 ^{a,b,c,d}	16.62	Potencia Instalada

^a BUSTOS [2]

^b SPICHIGER, (2008) [20]

^c FLANDES, (2012) [26]

^d CERDÁ, (2009) [27]

ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y POTENCIA INSTALADA PARA EL MUNICIPIO DE RIOSUCIO

Especie	PE^T [TJ/año]	PG [MWh/año]	
Cativo	909.25	63,142.18	
Abarco	917.80	63,735.54	
Roble	557.53	38,717.43	
Cedro	139.99	9,721.49	
Güino	285.86	19,851.43	
Choibá	362.89	25,200.85	
Bálsamo	252.56	17,538.70	
		237,907.62	\sum PG
n	0.25 ^{a,b,c,d}	29.74	Potencia Instalada

^a BUSTOS [2]

^b SPICHIGER, (2008) [20]

^c FLANDES, (2012) [26]

^d CERDÁ, (2009) [27]