

Evaluación de residuos forestales de especies potenciales para la obtención del carbono como energía limpia de la Amazonía ecuatoriana

(Evaluation of forest residues of potential species to obtain carbon as clean energy in the Ecuadorian Amazon)

Rubén Darío Ledesma¹, Reinier Abreu-Naranjo², Juan Elías González³

Resumen

Los residuos maderables que brinda el bosque secundario por su alto contenido en material lignocelulósico son de gran interés para la industria de la construcción y otras con fines energéticos. El objetivo de esta investigación fue evaluar los residuos forestales de seis especies para la obtención del carbono como energía limpia, esto representa gran interés para la industria energética. A través de la metodología del estudio de inventarios y muestreo de los residuos maderables de los aserraderos de cuatro cantones de la provincia de Pastaza, mediante técnicas instrumentales de análisis físicos, químicos y térmicos, los parámetros estudiados fueron el potencial de biomasa y residuo, densidad, humedad, cenizas, volátiles, carbono fijo y poder calorífico superior (análisis inmediato), carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre (CHONS), lo que permitió obtener las propiedades termoquímicas, alcanzando los principales resultados del potencial energético, de estas tres especies que se pueden aprovechar para energía limpia, debido a la cantidad de cenizas encontradas en los análisis por debajo del 1 % y de volátiles (60-80 %) de estos residuos, lo que evidencia claramente que evita la formación de incrustaciones en los equipos y daños, en relación a su contenido en carbono fijo en promedio de 14.78 % y su poder calorífico superior 19.72 Mj/kg, valorando la factibilidad industrial para su aprovechamiento energético que generará 515.62 GW de energía limpia en térmicos eléctricos anualmente para satisfacer las necesidades de las áreas vulnerables de la región amazónica.

Palabras clave

Potencial, residuo, poder calorífico, carbono y energía.

Abstract

Timber residues due to its use for the construction industry and others provided by the secondary forest and its high content of lignocellulosic material for energy purposes, our objective was to evaluate the forest residues of six species to obtain carbon as clean energy, which represents great interest for the energy industry. Through the methodology of the study of inventories and sampling of wood residues from sawmills that was in the four cantons of the province of Pastaza, through instrumental techniques of physical, chemical and thermal analysis, the parameters studied were the biomass potential and residue, density, humidity, ashes, volatiles, fixed carbon and higher calorific value (immediate analysis), carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen and sulfur (CHONS), which allowed obtaining the thermochemical properties, reaching the main results of energy potential, of these three species that can be used for clean energy, due to the amount of ash found in the analyzes below 1 % and volatiles (60-80 %) of these residues, which clearly shows that it prevents the formation of scale in equipment and damage, in relation to its fixed carbon content on average of 14.78 % and its superior calorific value 19.72 Mj/kg, assessing the fact industrial reliability for its energy use that will generate 515.62 GW of clean energy in electrical thermal power annually to meet the needs of vulnerable areas of the Amazon region.

Keywords

Potential, Waste, Calorific Power, Carbon and Energy.

1 Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. [rledesma@uea.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-2086-0185>].
2 Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. [rabreu@uea.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0003-1048-7126>].
3 Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. [jgonzalez@uea.edu.ec, <https://orcid.org/0000-0002-0674-7741>].

1. Introducción

Los residuos maderables de las especies con potencial productivo del bosque secundario fueron descubiertos: el *Piptocoma discolor* (pigüe) por John Francis Pruski (n.1955), botánico estadounidense; *Cecropia peltata* L., (guarumo) por Daniel H. Janzen, biólogo estadounidense, *Inga edulis* Mart. (guabo) por Bishop J. 1980 *Jacaranda mimosifolia* D.Don. (jacaranda) por Michelle Noelia Rodríguez CATIE-Ecuador, *Miconia crocea* (colca) por Naudín 1986 y *Morella pubescens* (laurel) por (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Wilbur, son aprovechados de diversas maneras, mayoritariamente el tronco del árbol o trozas principales para la madera destinada a la construcción de casas y muebles que se produce en la región Amazónica (Legarda, 2019). Quedando de estas una cantidad equivalente al 60 % como residuo maderable para su aprovechamiento como leña, astilla y carbón con fines energéticos, debido al crecimiento rápido y natural de las especies (González y Oliva, 2018). Siendo una de las principales fuentes de combustible de la biomasa tradicional de la humanidad la leña vegetal, a través de la combustión se obtiene el fuego, como una fuente energética sin manejo responsable (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2020). Sin embargo, los altos costos del petróleo obligan a muchos países a buscar la sustitución de las fuentes energéticas de materiales lignocelulósicos, del recurso maderable para la producción de energía limpia para la producción eléctrica (Uceda-Castillo, 1984). Por medio de los diferentes procesos termoquímicos que son aquellos que transforman la biomasa, en determinadas condiciones de presión y temperatura para obtener productos sólidos, líquidos o gaseosos, generalmente, mediante reacciones exotérmicas de la lignina por estar compuesto de una biomolécula como un heteropolímero amorfo, tridimensional, ramificado y está formada por alcoholes aromáticos, con una alta resistencia a la degradación química o biológica, que funciona como soporte estructural, impermeabilidad, rigidez y protección al resto de componentes como son la celulosa y hemicelulosa (Altamirano y Rocha, 2015).

Estos residuos maderables o combustible sólidos se encuentran implicados por las reacciones químicas irreversibles, a altas temperaturas y condiciones variables de oxidación y que requiere de la aplicación tecnológica acorde para la obtención de esta fuente renovable de energía limpia (Patiño Martínez, 2014). Estas biomasas residuales se han considerado como fuente renovable de energía limpia debido a las emisiones de carbono neutro, por sus características físicas de adsorber moléculas llamadas adsorbatos contenidos en un líquido o gas, y su composición química del carbón activo aproximadamente un 75-80 % en carbono, 5-10 % en cenizas, 60 % en oxígeno y 0,5 % en hidrógeno (Manrique y Garrido, 2021).

Las especies vegetales son los reactores de adsorción de dióxido de carbono atmosférico y su disponibilidad en el ambiente (Chuncho y Aguirre, 2019). Esta bioacumulación del carbono se produce en especies arbustivas y herbáceas, sus reacciones químicas, producida por la descomposición de hojarasca, humedad y temperatura impulsada por los microorganismos del suelo y de esta estructura está expresado en toneladas de carbono (tC) por hectárea por año, de tal manera que, en los trópicos se forman de 3.2 a 10 toneladas de carbono (tC) anualmente (Rimarachín, 2017). Por esta razón la importancia del análisis del poder calorífico superior del carbón de las especies forestales (Rivera y Uceda, 2014). Utilizaron un calorímetro adiabático y por el método del calor para la combustión del material orgánico. Y a base de esta metodología de la biomasa se destaca la relación entre la humedad y el poder calorífico, según la necesidad del pretratamiento de secado de acuerdo con la tecnología del sistema híbrido mediante

la simulación de optimización en Homer para la transformación energética (Pantoja-Bucheli y Guerrero-Ordoñez, 2016).

Según el potencial energético de biomasa residual en seco, qué cantidad de carbono fijo y su poder calorífico superior generaría anualmente por unidad de masa de dicho residuo, que se requiere una humedad del 10 (%H), como valor óptimo para su aprovechamiento energético (Arroyo-Vinueza y Reina-Guzmán, 2016).

El objetivo. Evaluar el potencial energético de los residuos forestales de especies de: *Piptocoma discolor*, *Cecropia peltata* L., *Inga edulis* Mart., *Jacaranda mimosifolia* D. Don., *Miconia crocea* y *Morella pubescens*, para obtención del carbono como energía limpia. Está basado en los métodos del inventario de las especies de los aserraderos de los cuatro cantones de la provincia de Pastaza y de los análisis del valor calórico, composición física, química, porcentaje del material volátil y la determinación del carbono fijo mediante la ecuación (Márquez-Montesino y Castillo-Ramos, 2009). Basado en la relación entre la masa de residuo seco y el contenido energético por unidad de masa de dicho residuo, o Poder Calorífico Inferior (PCI), con una humedad del 10 (%H), con valor óptimo para su aprovechamiento energético (Arroyo-Vinueza y Reina-Guzmán, 2016). Así queda demostrado como una alternativa de un combustible autóctono como fuente renovables de energía limpia en la Amazonía ecuatoriana.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

La obtención de las muestras residuales de las siguientes especies arbóreas *Acacia mearnsii* De Willd., *Eucalyptus grandis* Hill, *Mimosa scabrella* Benth. y *Ateleia glazioviana* Baill 22 °C (Agostinho-Da y Dalla-Corte, 2014). En esta investigación se clasificó en 11 aserraderos de los cuatro cantones que son: Arajuno, Mera, Santa Clara y Pastaza, de la provincia del mismo nombre, ubicado en la región Amazónica a 76°40´ de longitud oeste y entre los 1°10´ y 2°35´ de latitud sur, considerado su altitud, desde los 550 a 960 ms. n. m., según el GPS, con una humedad relativa de 80 y 90 %, con una temperatura promedio de 22°C según (INAMHI, 2015), y se procedió a realizar el levantamiento de información con la metodología publicada por (MAE, 2014).

2.2. Método de muestreo

El método aplicado por estratificación se refiere a la distribución uniforme que presenta las especies arbóreas de acuerdo con la categoría diamétrica y seleccionando 3 muestras de árboles al azar, según el siguiente diámetro (DAP) a una altura de 1.30 m del suelo de a. (15-20 cm), b. (20 - 25 cm) y c. (25 a 30 cm) de parcelas de 600 m², por cada cantón que aprovechan en los 11 aserraderos y de los montículos de aserrín, de una área 1.5 m², según el volumen de los residuos de viruta y una vez determinado esta área, se obtuvo una muestra 3 kg de acuerdo a la siguiente normativa UNE-EN 148999: 2007 (UNE, 2007) y de acuerdo al art. 28 de la evaluación impactos ambientales según el capítulo IV de los estudios ambientales (Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente [TULSMA], 2017). Según la guía técnica de la clasificación de residuos (Pérez, 2020). El muestreo cuenta con características morfológicas semejantes, tal como menciona la Norma TAPPI - cm-85 de 1985. Esto se debe a la composición de carbohidra-

tos de madera libre de extracción y pulpa de madera (Standards:Regulations and Style Guidelines [TAPPI T, 249], 2021), que permitirá realizar los análisis físicos, químicos y termoquímicos.

2.3. Evaluación del potencial de biomasa

Para esta evaluación se obtuvo datos reales, en cada aserradero mediante la cubicación de los árboles o trozas que llegan y se aplicó la ecuación volumétrica para conos truncados utilizados por

$$V = \frac{\pi(R^2 + r^2 Rr) * h}{3} \quad (1)$$

Donde:

V = volumen del fuste (m^3).

R^2 = radio mayor al cuadrado (m^2)

r^2 = radio menor al cuadrado (m^2)

Rr = Radio mayor por radio menor (m^2)

h = altura del fuste hasta el diámetro superior aparente (m).

El mismo que nos permitió conocer la cantidad de residuo de biomasa que sale en cada una de las trozas. Obteniendo la cantidad de residuos y el porcentaje de madera residual o astillas que sale de la madera que utilizan con fines industriales. La simulación de la troza y del potencial de biomasa con el *software* Autodesk Inventor Profesional 2017. Fue con el fin de conocer el volumen total del árbol. Con base en los datos señalados de las trozas o árboles que llegan a cada aserradero y quedando válido con la ecuación (2), que utiliza en este programa de simulación del árbol y el cálculo del potencial de biomasa fresca.

2.4. Densidad de la biomasa

La cuantificación y estimación del potencial de biomasa fresca, basándose en los diámetros de la base y el final de fuste del árbol, que demuestra las mediciones respectivas según el método alométrico, determinando las medidas de los diámetros de las ramas y trozas que llegan a los aserraderos etc., concluyendo con la cantidad del potencial de biomasa fresca (Álvarez y Cogollo, 2013)

$$mv = kgm^3 \quad (2)$$

2.5. Secado de la biomasa

Se extrajeron 3 kg de muestras de un volumen total de serrín de $2.7 m^3$, de la biomasa residual, intermedio y superior, sin corteza con el objetivo de realizar una mezcla homogénea, y obtener la información completa del residuo de serrín de los árboles de cada especie y posteriormente fueron llevados para realizar el secado a una temperatura ambiente de $25 ^\circ C$ del cantón Pastaza. El secado en horno a $120 ^\circ C$ de las partículas de serrín (Calderón y Solís, 2012).

Para el secado de las muestras fueron llevadas a un horno industrial de Marca American Range, automatizado con una regulación de temperatura $\pm 5 ^\circ C$, y que fue fijado con una humedad relativa de 90 % (HR), con temperatura de $120 ^\circ C$. Para el examen de estas muestras antes mencionadas que fueron puestas en una malla para evitar que se esparza en el horno y controlando su humedad y tiempo promedio de 150 minutos, y una vez terminado se pesó cada

muestra en una balanza analítica digital de Marca Pioneer con una precisión de 0,001 g alcanzando un peso constante.

En la experimentación se consideraron 6 niveles de tiempo y 3 réplicas dando un total de 18 corridas experimentales, en relación con los análisis físicos y con un peso de las muestras de 2 kg, que fueron colocadas en las bandejas del interior de un horno industrial para el secado mediante la norma COPANT-maderas 458. Y realizado con la siguiente metodología (Garay, 2012), según las gráficas (1-6) de los análisis inmediato y elemental.

2.6. Determinación de la humedad

La muestra fresca inmediatamente fue pesada y determinada su humedad al ambiente del 90 % (HR) y según la norma chilena (NCh176/1, 1984). Se consideró la siguiente fórmula para la humedad inicial de la madera en fresco.

$$CH = CHC_{Fresco} - W_{H_2O} / W_{Wfresco} \quad (4)$$

Una vez puestas las muestras presecadas en lonas de plástico, posteriormente fueron llevadas a la estufa, basándose en las Normas ASTM D 346-04 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1998).

2.7. Métodos para determinación del potencial de carbono

La caracterización física y química, se realizó con base en las especificaciones técnicas del Comité Europeo para la Estandarización (CEN) y otras como se muestra en la tabla 1, así como las normas utilizadas, instrumentos, herramientas y equipos.

Tabla 1. Análisis químicos y térmicos de los residuos forestales

n.º	Análisis	Descripción	Normas
1	Análisis Proximal e Inmediato	Cenizas Humedad Volátiles Carbono fijo	UNE-EN ISO 18122 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2016a). UNE-EN ISO 18134-3 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2016b). UNE-EN ISO 18123 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2016c). Calculado
2	Análisis elemental	Analizador elemental MACRO UEB (C, H, N, S)	ASTM C -114 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2004). UNE-EN ISO 16948 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2015)
3	Análisis Térmico	Calorímetro adiabático Automático 6400 PCS (Mg/kg)	DIN EN 61010 (UNE, 2011). UNE-EN ISO 18125 (Asociación Española de Normalización [UNE], 2018).

2.7.1. ANÁLISIS APROXIMADO O INMEDIATO

El análisis de la muestra fue de 1 gramo a temperaturas y tiempos, controlados. En un equipo de la serie 340 totalmente automáticos de segunda generación de analizadores, termogravimétricos, lo que permitió la determinación de los contenidos de sólidos y cenizas estas sustancias, con rangos de temperaturas de +50 °C hasta 1000°C y que se puede realizar con varios gases para este proceso.

Por medio del análisis aproximado o inmediato de los residuos forestales mediante la siguiente formulación del por ciento: Cenizas, material volátil y carbono fijo.

$$\text{Para el \% de cenizas} \quad A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (3)$$

$$\text{Para el \% de volátiles} \quad V_d = \left[\frac{100(m_2 - m_3)}{m_2 - m_1} - M_{ad} \right] \times \left[\frac{100}{100 - M_{ad}} \right] \quad (4)$$

$$\text{Para el \% de carbono fijo} \quad C_f = T_{Al} - V_d - A_d \quad (5)$$

Dónde:

A_d = % Cenizas
 m_1 = masa del plato vacío
 m_2 = masa del plato y la muestra
 m_3 = masa del plato y ceniza
 M_{ad} = porcentaje de humedad de la muestra
 V_d = % Cenizas
 m_1 = masa del crisol vacío
 m_2 = masa del crisol y la muestra antes
 m_3 = masa del plato y contenido después
 T_{Al} = Porcentaje total

Se consideró el cien por ciento de la muestra para lograr obtener los resultados del análisis aproximado, PrepASH como una solución estándar por el método ASTM D 5142 y fue determinado bajo atmosfera protectora de nitrógeno (ASTM, 2017).

2.7.2. ANÁLISIS ELEMENTAL

La muestra se preparó de acuerdo al tamaño de 1 mm o menos, según la Norma FprEN 14780. Con un contenido de humedad descrito en la Norma EN 14774-3, usando una porción de la muestra que fueron secados en una estufa y posteriormente realizando la evaluación del contenido de carbono fijo. Una vez analizado en el analizador elemental las propiedades químicas de CHN.

Previa calibración fueron obtenidos los resultados en base seca, con tres replicas y según las siguientes ecuaciones.

$$\text{Para el contenido de carbono} \quad C_d = C_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (6)$$

$$\text{Para el contenido de nitrógeno} \quad N_d = N_{ad} \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (7)$$

$$\text{Para el contenido de hidrogeno} \quad H_d = \left[H_{ad} - \frac{M_{ad}}{8,937} \right] \times \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (8)$$

Dónde:

d = es base seca

ad = según se ha determinado

Mad = es el contenido de humedad de la muestra para análisis general.

Estas ecuaciones antes descritas permitieron obtener los resultados de los análisis del porcentaje de carbono, nitrógeno e hidrógeno, que fueron calculados con base a la Norma EN15296, y comparados con los datos analíticos obtenidos según el método de la Norma INTERNATIONAL ESTÁNDAR ISO 5725-2 UNE-EN, (2011). Desarrollado para estos análisis químicos CHNS, que fueron realizados en el equipo MACRO cube V3.1.3 (f4922ac) 2014-07-14, ser. N:20144056 Elementar Analysensysteme GmbH. en la Universidad Estatal de Bolívar y obteniendo resultados confiables.

Mediante esta metodología se pudo relacionar entre H/C versus O/C que fue usado para clasificar y comparar la biomasa con otros combustibles la base del carbono obtenido (Bergman et al., 2005). Como un elemento importante para la valoración del valor calórico (Rivera y Uceda, 2014). Y la comparación de la composición de C, H, O que reflejan en el potencial de biomasa residual de las diferentes especies como combustible antes mencionados (Bustamante y Ciro, 2016).

2.8. Análisis estadístico del potencial de residuos de especies forestales

Esta investigación del potencial de biomasa y el secado fue realizada con muestras de tamaño representativo con el objetivo de sustentar las variables de estudio en relación con el peso total del árbol, de la materia fresca y del secado.

Se aplicó dos tipos de estadística descriptiva y la estadística inferencial.

Los datos del potencial de biomasa residual fueron realizados a partir del valor promedio "en SITU" del inventario de los árboles. Para conocer su peso y fue en base a la densidad de la madera en fresco de las especies forestales, posteriormente se utilizaron gráficos de dispersión, y se procedió a trabajar con la herramienta Excel y pruebas de significancia y regresión. Nombre del archivo SWIN.exe. para la estimación o inferencia, y además cuantificar la probabilidad. Para poder extrapolar las conclusiones (Gutiérrez-Pulido y Salazar, 2012). De esta manera, se ha permitido desarrollar el modelo matemático a través de las herramientas y programas estadísticas (Infostat/L) y StatGraphics Centurion-StatFolio 2018.

3. Resultados

Los residuos obtenidos de las siguientes especies forestales: *Piptocoma discolor*, *Cecropia peltata* L., *Inga edulis* Mart., *Jacaranda mimosifolia* D.Don., *Miconia crocea* y *Morella pubescens*, se utilizaron para obtención del carbono como energía limpia. Que fueron de los 11 aserraderos, debido a sus propiedades físicas, químicas y térmicas de cada especie, y sus variaciones del potencial de biomasa fresca y residual, que fueron evaluados para conocer su potencial de biomasa y de carbono como energía limpia renovable para la Amazonía ecuatoriana.

3.1. Potencial de biomasa disponible

La cantidad de residuos generados de las cinco especies forestales en fresco y seco de los troncos, que son transportados a los aserraderos, donde se procede a realizar el aserrado de las diferentes partes de la madera y quedando una gran cantidad de residuos de aserraderos

y otra parte en bosque secundario de la provincia de Pastaza de la Amazonía ecuatoriana, que se puede aprovechar como fuente de energía limpia y se menciona en siguientes tablas 1-2 del potencial de biomasa.

Tabla 1. Total, de árboles aserraderos anualmente, peso/árbol en toneladas (t)

Nombre común	Árboles	W.kg/árbol	Total, Kg	Total, t
<i>Piptocoma discolor.</i>	62104916	320.15	19882888857.00	19882888.86
<i>Cecropia peltata L.</i>	887012	280.45	248762515.40	248762.51
<i>Inga edulis Mart.</i>	591465	350.49	207302567.90	207302.56
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	438228	350.45	153577002.60	153577.00
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	288090	450.86	129888257.40	129888.25
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	204684	450.86	92283828.24	92283.82

Tabla 2. Cantidad total de biomasa residual fresca de cinco especies forestales

Nombre común	Total, (t)	Aprovechable 30 (%)	No aprovechable 70 (%)	Total, biomasa anual (t)
<i>Piptocoma discolor.</i>	19882888.86	5964866.65	13918022.20	13918022.20
<i>Cecropia peltata L.</i>	248762.51	74628.75	174133.76	174133.76
<i>Inga edulis Mart.</i>	207302.56	62190.77	145111.79	145111.79
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	153577.00	46073.10	107503.90	107503.90
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	129888.25	38966.47	90921.78	90921.78
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	92283.82	27685.14	64598.67	64598.67

La cantidad de biomasa total y residual por especie en toneladas de materia fresca. Esta evaluación fue realizada en los aserraderos, como se demuestra en la tabla 2, dando un total 14.500.292.20 toneladas de las seis especies sin embargo se pueden observar que el mayor porcentaje se encuentra en el *Piptocoma discolor.* (Pigüe) 46.98 %, y seguidamente por el *Cecropia peltata L.* (guarumo) 5.56 %, *Inga edulis Mart.* (guabo) 4.54 %, *Jacaranda mimosifolia D.Don.* (jacaranda) 3.91 %, *Miconia Ruiz y Pav.* (colca) 3.17 % y *Myrica pubescens Humb. y Bonpl. ex Willd.* (laurel) 2.74 %, con mayor representativa para el aprovechamiento en los aserraderos que proviene los árboles del bosque secundario de la provincia de Pastaza.

3.2. Materia residual seca

La cantidad de biomasa de materia seca para fines energéticos según el contenido de humedad; indicamos esta cantidad de residuo que se echa a perder al ambiente en la provincia de Pastaza en la siguiente tabla.

Tabla 3. Total, de la biomasa seca que produce anualmente en toneladas (t)

Nombre común	Biomasa residual fresca (t) anual	Contenido de humedad de materia fresca (%)	Contenido biomasa o materia seca (%)	Total, de biomasa residual seca (t)
<i>Piptocoma discolor.</i>	13918022.20	62.63	37.37	5201164.90
<i>Cecropia peltata L.</i>	174133.76	53.54	46.46	80902.55
<i>Inga edulis Mart.</i>	145111.80	5.70	48.30	70089.00
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	107503.90	54.49	45.51	48925.03
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	90921.78	52.05	47.95	43596.99
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	11927987.60	55.54	44.46	5303183.29

La biomasa fresca de las cinco especies forestales está representada por fases sólida de hemicelulosa, celulosa y lignina; fase líquida agua; fase gaseosa aire y vapor de agua según la estructura porosa de la madera, el analizar estas proporciones de la biomasa y su orden del mecanismo de secado fue según la experimentación realizados por (González y Campo, 2021).

3.3. Caracterización física, química y de carbono de los residuos maderables

Las propiedades físicas, químicas y el contenido de carbono de los residuos de las cinco especies maderables, muestran su importancia para su aprovechamiento como energía limpia, los resultados obtenidos presentan los siguientes valores significativos de la evaluación realizada con fines energéticos. En cambio, la carbonización, si presenta sus diferencias significativas en base seca. Las diferencias de las densidades de los análisis de las muestras de madera fresca y seco al ambiente con una humedad promedio de 8.0 % y con una desviación estándar en fresco de 0.5 %, como se muestra en la tabla 4. En el caso de la humedad se observa una homogeneidad en la pérdida de peso en el proceso de secado al ambiente. Y el análisis de las cenizas se observa diferencias de acuerdo a las especies donde podremos dar a conocer en la discusión la factibilidad de aprovechar para la producción de energía limpia según su contenido.

Tabla 4. Porcentaje de la humedad y cenizas en base ambiente y seca

Nombre Científico	Densidad Promedio	Humedad	En base fresca		En base seca	
			%		%	
		fresco y seco (g/cc)	Promedio %	Promedio	Desviación	Promedio
<i>Cecropia peltata L.</i>	0.699-0.449	8.62	1.29	0.07	1.41	0.07
<i>Inga edulis Mart.</i>	1.012-0.797	7.47	0.75	0.01	0.81	0.01
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	0.707-0.527	7.03	0.80	0.04	0.86	0.05
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	1.40-1.061	7.98	0.96	0.03	1.05	0.03
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	1.099-0.928	8.93	1.80	0.09	1.98	0.10
Promedio Total	0.984-0.752	8.00	1.07	0.05	1.22	0.05

ANÁLISIS INMEDIATO

Los análisis de la conversión de la biomasa en cuanto a volátiles, carbono, cenizas y su poder calorífico superior se muestra las diferencias de los residuos forestales en la siguiente tabla 5. Sin embargo, el contenido de cenizas de algunas especies se encuentra en valores superiores al 1 %, lo que puede llevar a otro tipo de aprovechamiento a nivel de la industria.

Tabla 5. Porcentaje de análisis cenizas, volátiles y carbono fijo

Nombre Científico	% Cenizas	% Volátiles	% Carbono fijo	PCS [MJ/kg]
<i>Cecropia peltata L.</i>	1.41	83.86	14.73	20.05
<i>Inga edulis Mart.</i>	0.81	82.98	16.21	20.20
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	0.86	85.85	13.29	19.93
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	1.05	84.36	14.59	19.51
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	1.98	82.50	15.52	18.91

Este análisis fue llevado a temperaturas (de 900 ± 5 °C) por un tiempo de 7 minutos), con respecto al estudio de las cinco especies con procedimientos y técnicas según las normativas expuestas en la metodología. Todo esto fue basado en la obtención del carbono fijo y su poder calorífico para determinar el potencial energético que brinda estos residuos forestales que se echa a perder en los aserraderos y en el campo sin dar ningún uso en la provincia de Pastaza.

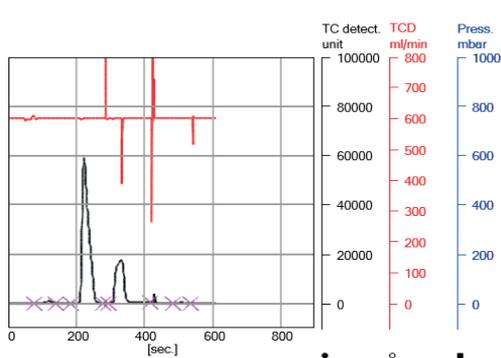
Tabla 6. Potencia de biomasa residual de materia seca y GWh y anualmente

Nombre común	Total, de biomasa residual seca (t)	Promedio PCS [MJ/Kg]	Mj	GWh
<i>Piptocoma discolor.</i>	5201164.89	19.05	99082.19	0.037744
<i>Cecropia peltata L.</i>	80902.54	19.92	1611.57	0.000452
<i>Inga edulis Mart.</i>	70088.99	20.20	1415.79	0.000393
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	48925.03	19.51	954.52	0.000267
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	43596.99	18.91	824.41	0.000231
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	5303183.28	20.05	106328.82	0.029772
			Total GWh	0.058860
			Total, GWanual	515.62

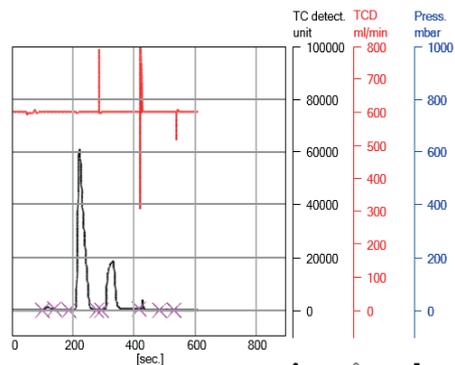
Según el cálculo de la cantidad de biomasa residual que se presenta en la tabla 5, esto permitiría generar un total de 515.62 GW anualmente en términos eléctricos, lo que podría ayudar a satisfacer las demandas eléctricas para la región amazónica.

ANÁLISIS ELEMENTAL

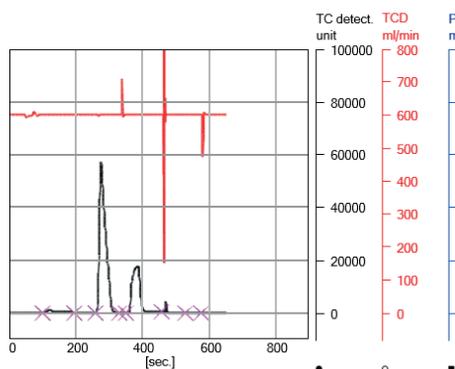
El análisis elemental fue realizado con tres replicas, utilizando diferentes técnicas para la obtención de los datos de su composición química. Al comparar estos análisis con otras composiciones de la madera varia de una especie a otra y dentro de la misma especie debido a su estructura química. Según las gráficas del presente estudio nos muestra sus diferencias son significativas.



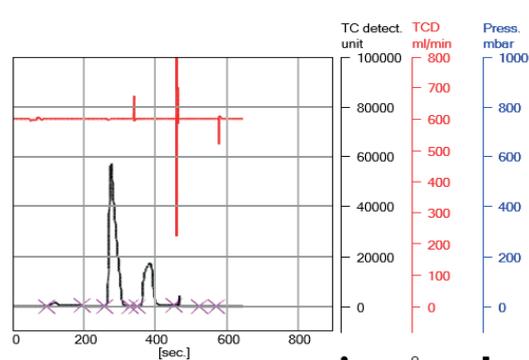
Gráfica 1. Análisis de laurel



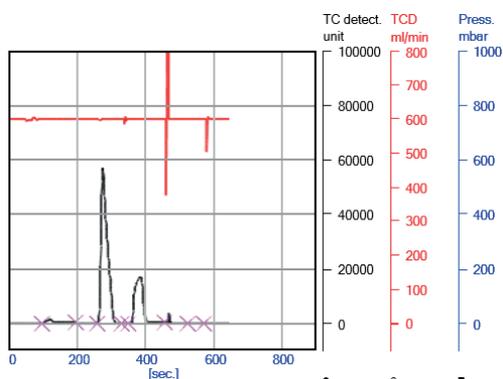
Gráfica 2. Análisis de guabo



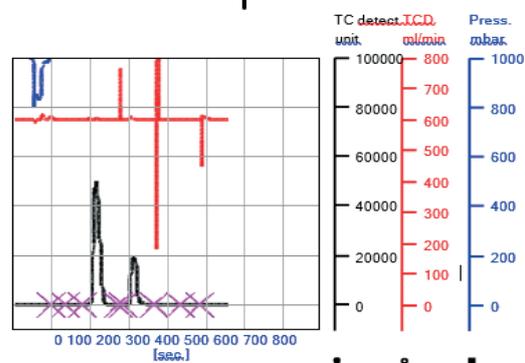
Gráfica 3. Análisis del guarumo



Gráfica 4. Análisis de jacaranda



Gráfica 5. Análisis de colca



Gráfica 6. Análisis de pigüé

Se tomo en consideración el estudio del pigüe, por su alto porcentaje en residuos sólidos para su aprovechamiento energético, como se observa las diferencias en relación con los compuestos de este análisis elemental siendo: N, C, H, S y O, según las gráficas 1-6, con picos diferentes debido a su propia naturaleza de cada especie y la temperatura utilizada para su degradación de los compuestos hemicelulosa, celulosa y lignina, que permitió obtener los porcentajes antes mencionados de los seis residuos forestales en la siguiente tabla 7.

Tabla 7. Análisis elemental de los residuos forestales

Nombre Científico	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio	O [%]
<i>Cecropia peltata L.</i>	0.45	52.72	8.32	0.10	116.36	6.34	37.3
<i>Inga edulis Mart.</i>	0.53	52.86	8.16	0	99.75	6.48	37.70
<i>Jacaranda mimosifolia D.Don.</i>	0.85	52.15	8.38	0	62.97	6.22	37.83
<i>Miconia Ruiz & Pav.</i>	1.18	51.75	8.3	0	43.85	6.24	37.80
<i>Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.</i>	0.79	49.47	7.32	0.01	60.81	6.75	40.61

Según esta información se muestra el análisis del contenido de carbono fijo principalmente para el aprovechamiento de energía limpia a partir de estos residuos forestales.

3.4. Contenido de carbono de residuos forestales

El análisis del contenido porcentual de carbón de los residuos de las cinco especies forestales derivada del programa térmico según las gráficas de la 1 a la 6 las dos etapas de degradación térmico de los materiales lignocelulósicos que representa son: para *Cecropia peltata L.* (laurel) 1er etapa 220 - 300°C, 2da etapa 300 - 360°C, carbono fijo 14.73%, *Inga edulis Mart.* (guabo) 1era etapa 210 - 260°C y 2da etapa 300 - 350°C, carbono fijo 16.21 %, *Jacaranda mimosifolia D.Don.* (guarumo) 1era etapa 280 - 320°C, y 2da etapa 350 - 400°C, carbono fijo 13.29 %, *Jacaranda mimosifolia D.Don.* (jacaranda) 1era etapa 280 - 320 °C, 2do pico 360 - 400 °C, carbono fijo 14.59%, colca 1era etapa 280-320 °C y 2da etapa 360 - 400 °C, 16.33 %. Y mayor temperatura fue el porcentaje de volátiles de cada una de las muestras de los residuos. Toda esta información está basada en los promedios de las tres repeticiones que fueron analizadas.

4. Discusión

Las variaciones de potencial de biomasa fresca total debido a su potencial productivo y a su extensión de bosque secundario de 100987.00 ha, que genera la parte residual de las cinco especies forestales y otra la especie que suma de mayor con su porcentaje mayoritario en la cantidad de biomasa residual 13918022.20 Tn, por ocupar un 46.97 % y seguido como se indica en la tabla 1- 5 con el porcentaje bajo de 5.36 % y de igual similitud de las otras especies, debido a su crecimiento rápido del *Piptocoma discolor*, que le ubica en el primer lugar como una especie nativa del bosque secundario por su potencial productivo (González y, que esta producción se echa a perder, en el bosque y en los diferentes aserraderos y sin brindar ninguna alternativas industrial, he aquí nace esta necesidad de aprovechar esta biomasa con fines energéticos, debido a que las otras especies que le siguen una propiedad de crecimiento lento que son similares a otras especies (Hurtado y Guayara, 2013), el volumen de producción de biomasa maderable

8754 m³ que representa el 30 % y la diferencia residual corresponde al 70 % de producción anual del *Piptocoma discolor* (Villalba, 2019); sin embargo, no se descarta esta especie con bajo porcentaje de población que por su propiedades maderables son aprovechadas por la industria de la madera y quedando un volumen residual representativo como recursos renovables natural (UNESCO, 2014). Según las estadísticas de las otras provincias como se muestra son bajas en relación al potencial de residuos en una cantidad de 608.63 Tn de masa forestal anualmente en zona urbana de Cuenca (Yáñez-Iñiguez y Esteban, 2020).

La eliminación de la humedad promedio de equilibrio de los residuos de las especies forestales se encuentra en un 8.0 %, se debe a su periodo de la eliminación de la humedad del ambiente y temperatura de 25-30°C y el secado en horno 105°C, similares a los estudios de etapas de secado que van desde el punto B hasta el punto D, considerando sus cuatro etapas de evaporación del agua para estos fines secado de biomasa a) el agua libre o capilar, b) el agua latente (de impregnación, absorción, retenida o higroscópica), c) vapor de agua en las cavidades celulares o lúmenes y d) el agua fija o de constitución que forma parte de las fibras (Rojas-Vargas, 2016). Con parámetros similares a los comportamientos descritos por (González y Campo, 2021). En el análisis inmediato, las diferencias que se muestran en base a los porcentajes de los compuestos de la tabla 4, cenizas, volátiles, carbono fijo y su poder calorífico de los residuos de las biomásas maderables, de acuerdo a las temperaturas en rangos desde los 280 - 500 °C, utilizas concuerdan con estudios demostrados (Suárez-Patlán y Sandoval-García, 2018), en base a estos resultados se las cinco tipos de residuos se puede evidenciar el 16.21 % de carbono fijo y su poder calorífico superior de 20.20 (Mj/kg), siendo el más alto *Inga edulis Mart.* (guabo), esto se debe a que su contenido en cenizas equivale al 0.81 % siendo el valor más bajo dentro del grupo, según la velocidad de degradación demostrado por estudios recientes (Alvarado, 2018). Otra de las características de estos residuos de la biomasa maderable, debido a su bajo contenido en cenizas y porque otras investigaciones similares benefician para la perspectiva industrial o energética de producción limpia (Arroyo-Vinueza y Reina-Guzmán, 2016). Los residuos que se encuentra por debajo del 1 % en cenizas y de volátiles (60-80 %) de estos residuos, lo que evidencia claramente de reducir la formación de incrustaciones en los equipos industriales (Quesada y Bigñot, 2019).

Los resultados de los análisis térmicos y químicos, de acuerdo a la tabla 7. Influye el poder calorífico superior en su eficiencia energética (Sánchez y Fuquen González, 2014). A diferencia con otras biomásas similares reportados (Portero, 2018). Esto permitirá la producción, manejo y aprovechamiento de estos residuos forestales, así como hacen de presentarse en otras plantaciones que permita satisfacer la demanda energética (Vignote, 2016). A continuación, en las gráficas 1-6, se evidencia las curvas (TDC) de la codigestión-aisladas CHNS. Otros estudios del análisis elemental, según las características físico químicas de la madera y carbono de Pino, Abeto, Nogal, Álamo y Roble, de estas ocho especies vegetales cuentan con mínimo y máximo de carbono de 49.50-53.30 %, Hidrogeno 5.70- 6.50 %, Nitrógeno 0.10-0.20 %, Oxígeno de 40.30-43.10 % y Cenizas 0.20-3.30 % según la literatura en base seca (Rivera y Uceda, 2014). Nuestros análisis inmediato y elemental de los residuos forestales que se muestran en la tabla 5-7. Mantienen una similitud con las propiedades físicas, químicas y térmicas para los fines energéticos (González y Zúñiga, 2022), de igual manera otras semejanzas con respecto a su contenido de carbono y los otros componentes físico químicos estudiados en especies vegetales de la Amazonía peruana (Rivera y Uceda, 2014).

5. Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a la densidad de los residuos de la madera varía según su especie y sin embargo en relación con los componentes de cenizas mantienen una diferencia significativa *Cecropia peltata* L., *Miconia Ruiz y Pav.*, y *Myrica pubescens* Humb. y Bonpl. ex Willd, por encima del 1 %, no son factibles para el uso industrial y sin embargo las otras tres especies como, *Piptocoma discolor*, *Inga edulis* Mart. y *Jacaranda mimosifolia* D.Don. son valores que se encuentra por debajo del 1 % lo que significa de gran importancia para el aprovechamiento industrial porque evita la acumulación o incrustación de las cenizas en las tuberías de las calderas para la generación de vapor y energía limpia.

Los residuos maderables de las seis especies representan un potencial de biomasa residual de 14.500.292.12 t, y el carbono fijo en un promedio de 14.78 %, en base seca. En cuanto a su rendimiento de acuerdo con sus componentes de hemicelulosa, celulosa y lignina, guardan una similitud entre las otras especies.

Según la cantidad de residuos y su poder calorífico superior en términos energéticos, de estas seis especies en promedio representaría un potencial de energía 515.62 GW eléctricos térmicos anualmente, lo que podría ayudar a satisfacer las demandas eléctricas de las áreas de vulnerables y de difícil acceso en la región amazónica.

Se recomienda para el aprovechamiento industrial el *Piptocoma discolor*, *Inga edulis* Mart. y *Jacaranda mimosifolia* D.Don. por la cantidad de residuo y por su porcentaje bajo en cenizas que permitirá generar una energía limpia.

Bibliografía

- Agostinho-Da, Silva, D., Otomar-Caron, B., Sanquetta, C, R., Behling, A., Schmidt, D., Bamberg R., Eloy, E., Dalla-Corte, A,P., 2014. Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies de árboles DOI: 10.5154/r.rchscfa.2013.09.035/
- Altamirano, A., Schlegel, B., Thiers, Ó., Miranda, A., Pilquinao, B., Orrego, R. y Rocha, C. (2015). Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía en el centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 36(2), 223-237. doi:10.4067/S0717-92002015000200008/
- Alvarado, J., y Rutiaga, J. (2018). Estudio de cinética en procesos termogravimétricos de materiales lignocelulósicos. *Maderas.Ciencia y tecnología*, 20(2), 221-238. doi:10.4067/S0718-221X2018005002601/
- Álvarez, E., Benítez, D., Velásquez, C. y Cogollo, Á. (2013). Densidad básica del fuste de árboles del bosque seco en la costa caribe de Colombia. *IntRopica*, 1-12. https://www.researchgate.net/publication/272823581_Stem_basic_density_of_dry_forests_trees_in_the_Colombian_Caribbean_coast/
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (1998). D346 Muestreo Carbón. https://www.academia.edu/8946698/standard_method_for_moisture_analysis_of_particulate_wood_fuels/
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2004). Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement. Obtenido de <https://civiledu.co/wp-content/uploads/2021/08/C-114.pdf/>
- American Society for Testing and Materials [ASTM]. (2017). Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures <https://tienda.aenor.com/norma-astm-d5142-02a-020740>.
- Arroyo-Vinueza, J, S., y Reina-Guzmán, W. S. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *INGENIUS*, 20-29. doi:10.17163/ings.n16.2016.03/

- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2007). Caracterización de residuos. Toma de muestras de residuos. Esquema para la preparación y aplicación de un plan de muestreo. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0038279>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2011). Requisitos de seguridad de equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0047601>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2015). Biocombustibles Sólidos - Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno. Obtenido de [https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0055295#:~:text=ISO%2016948%3A2015-,Biocombustibles%20s%C3%B3lidos.,\(ISO%2016948%3A2015\)](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0055295#:~:text=ISO%2016948%3A2015-,Biocombustibles%20s%C3%B3lidos.,(ISO%2016948%3A2015)).
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2016a). Biocombustibles Sólidos - Determinación del contenido de ceniza (ISO 18122:2015). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0056486/>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2016b). Biocombustibles Sólidos - Determinación del contenido de humedad. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056325/>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2016c). Biocombustibles Sólidos - Determinación del contenido en materia volátil. Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0056450/>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2018). Biocombustibles Sólidos - Determinación del poder calorífico (ISO 18125:2017). Obtenido de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060319>
- Bustamante García, V., Carrillo Parra, A., Prieto, Ruiz, J. A., Corral-Rivas, J.J. y Hernández, Díaz, J. C. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. 7(38), 5-24. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63450027007.pdf>
- Calderon, R. D., y Dalila, E. (Febrero de 2012). Cuantificación del carbono almacenado en tres fincas en tres estados de desarrollo del bosque de pino. Managua, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/1158/>
- Chuncho, G., Chuncho, C., y Aguirre, Z. (2019). *Anatomía y morfología vegetal*. Universidad Nacional de Loja., <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA VEGETAL.pdf/>
- Garay, R., y Henríquez, M. (2012). RATAMIENTO QUÍMICO DE ACETILACIÓN EN MADERA DE PINUS RADIATA CHEMICAL ACETYLTATION TREATMENT IN RADIATA PINE WOOD. *Ciencia y Tecnología de la Madera*, 1-12. doi:10.4067/S0718-221X2012000100009
- González, J. E., Oliva M. D., Zambrano V. D., Ledesma, R. D, Bonilla, M. J., Casco G. E, C. y Zúñiga, É.E. (2022). Modelación y simulación computacional de fluido del Piptocoma discolor (pigüe) para la optimización de la combustión en el Ecuador. *Enfoque UTE*, 13(2), 48-67. doi:10.29019/enfoqueute.795/
- González, J.E., Papue, A., González, V., Borja, A. y Oliva, D. (2018). Crecimiento y Conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza. *CFORES CIENCIAS FORESTALES*, 6(3): 366-379, 14. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v6n3/2310-3469-cfp-6-03-366.pdf>
- González, J., Coronel, B., Quevedo, V., Uvidia, H., Oliva, D., Morón. J. y Campo, M. (2021). Biomass Potential and Kinetics of Drying Model of Piptocoma discolor (pigüe) as a Source of Renewable Energy Source in Ecuador. *Enfoque UTE* 12(1), 74-90. doi:10.29019/enfoqueute.695/
- Gual-Díaz, M., Rendon-Correa, A., y Mariaca, R. (2020). Especies vegetales con uso combustible por comunidades rurales mexicanas. *Etnobiología*, 18(3), 113-135. Obtenido de <https://revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/388/383>
- Gutiérrez-Pulido, H., y Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. MC Graw Hill. https://www.researchgate.net/publication/31775471_Analisis_y_Diseño_de_Experimentos_Ed/
- Hurtado, E., y Guayara, Á. (2013). Potencial de uso de Piptocoma discolor (Kunth) Pruski en Sistemas Silvopastoriles. *Ingenierías & Amazonía*, 6(1), 23-30. <https://core.ac.uk/download/pdf/288214962.pdf/>

- INAMHI, I. N. (2015). *Anuario Meteorológico*. INAMHI https://www.inamhi.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_anu.pdf/
- Legarda, I. E. (2019). Centros de servicios, una oportunidad de negocios en la industria de la madera del Ecuador. Guayaquil: Universidad Especialidades Espíritu Santo. <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/3072/1/LEGARDA%20IZQUIERDO%20EMILIO%20JOSE.pdf/>
- MAE, M, D. (2014). *Evaluación Nacional Forestal Resultados*. Ministerio de Ambiente del Ecuador. Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <http://geonetwork.ambiente.gob.ec/documents/10179/185860/MAE+2014a.+Evaluacion+Nacional+Forestal+-+Resultados.pdf/3733cfe0-c2e5-4813-95af-8197533bd3a3;jsessionid=5rK0xP7SlgcwsdNHYZzQP7Go?version=1.0/>
- Manrique, S., Ojeda, M., Sánchez, J., Alonso, A. y Garrido, S. (2021). *Sistemas de biomasa y bioenergía: Casos ejemplares en Iberoamérica. Hacia la sustentabilidad bioenergética territorial*. Red Iberoamericana de Biomasa y Bioenergía Rural (ReBiBiR-T) constituida bajo la promoción del Programa. (Ed.) https://www.researchgate.net/publication/353924493_Sistemas_de_Biomasa_y_Bioenergia_Casos_Ejemplares_En_Iberoamerica_Hacia_la_sustentabilidad_bioenergetica_territorial/
- Márquez-Montesino, F., Carballo-Abreu, L. R., Álvarez-Olivera, P. A. y Castillo-Ramos, R. (2009). Estudio de las posibilidades energéticas de la madera de Jambolán (*Syzygium Cumini*), del Municipio de Pinar del Río, Cuba. *AVANCES*, 1- 9. http://www.ciget.pinar.cu/Revista/No.2009-3/articulos/Estudio_posibilidades_energ_madera_jambol.pdf.
- Norma Chilena Oficial [NCh176/1]. (1984). Madera - Parte 1: Determinación de humedad Norma oficial Chilena <https://www.coursehero.com/file/42582400/NCh0176-1-1984pdf/>.
- Pantoja-Bucheli, A. D., Castillo-Muñoz, J. F., y Guerrero-Ordoñez, J. (2016). Metodología para el aprovechamiento del potencial energético con biomasa forestal en el departamento de Nariño: Caso de estudio. *Ingeniería Solidaria*, 12(20), 43-59. doi:10.16925/in.v19i20.1415/
- Patiño Martínez, P. (2 de Junio de 2014). Biomasa Residual vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia*, 2(1): 45-52, 8. doi:10.15649/2346075X.255/
- Pérez, F, M. (2020). Guía técnica para clasificación de residuos. España. Obtenido de <https://agqlabs.es/wp-content/uploads/GUIA-PARA-CLASIFICACION-DE-RESIDUOS-PPT-WEBINAR.pdf/>
- Portero, H. (2018). Estudio experimental de peletizado en planta piloto y de combustión en caldera de biomasa baja potencia. (Tesis Doctoral). Ciudad Real.: Universidad de Castilla-La Mancha. <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/18416/TESIS%20Portero%20Gonz%c3%a1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Quesada, O., Cantos, M., Duharte, W., Pozo, D., & Bigñot, L. (2019). Efecto de la velocidad de calentamiento y la biomasa en la cinética de su pirólisis. *Revista Cubana de Ingeniería Química*, 31(3), 1-18. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443561090012>.
- Rimarachín, M, M. (2017). Determinación de ecuaciones alométricas para estimar el contenido de biomasa total y la captura de dióxido de carbono en una plantación forestal de *Eucalyptus torelliana* en el sector Indoche Distrito y Provincia de Moyobamba, Región. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2844549>
- Rivera, P., & Uceda, M. (2004). Características físico - químicas de la madera y carbon de once especies forestales peruanas. (F. d. CEDINFOR, Ed.) *Revista forestal de Perú*, 14 (2), 1-8. Obtenido de <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/rfp/article/viewFile/137/135>
- Rivera, P., y Uceda, C. M. (2014). Características físico químicas de la madera y carbón de once especies forestales de la Amazonía Peruana. *Revista Forestal del Perú*, 14(2), 1-8. doi:10.21704/rfp.v14i2.137/
- Rojas-Vargas, A. (2016). Balance de energía en un horno de secar madera. *Tecnología Química*, 36(1), 1-13. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4455/445543786003/html/>
- Saldarriaga, E. J. (2015). Avances en el modelado de la combustión de Biomasa en Spouted bed cónico. https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/15799/TESIS_JUAN%20FERNANDO_SALDARRIAGA%20_ELORZA.pdf?sequence=1/

- Sánchez, C., y Fuquen González, H. (2014). Eficiencia Energética. (3, Ed.) DESARROLLO TECNOLÓGICO E INNOVACIÓN EMPRESARIAL, 1. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/333089139_EFICIENCIA_ENERGETICA.
- Standards: Regulations and Style Guidelines [TAPPI T], 2. (1985). Carbohydrate composition of extractive-free wood and wood pulp by gas-liquid chromatography. Technical Association of the Pulp & Paper Industry. Obtenido de https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/TAPPI-T-249-1985-1062627_SAIG_TAPPI_TAPPI_2471653/
- Suárez-Patlán, E. E., Carrillo-Ávila, N., Fuentes-López, M. E. y Sandoval-García, J. (2018). Calidad química del carbón vegetal de dos especies maderables bajo diferentes condiciones de pirólisis controlada. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 4(14), 10-15. https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol4num14/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V4_N14_2.pdf/
- Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente [TULSMA]. 2017 capítulo IV De Los Estudios Ambientales. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>.
- Uceda-Castillo, M. E. (1985). Determinación del Poder Calorífico de 20 especies forestales de Amazonía Peruana. *Forestal del Perú*, 12, 1-20. [http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_\(16\)/vol12_art8.pdf/](http://cedinfor.lamolina.edu.pe/Articulos_RFP/Vol12_no1-2_84_(16)/vol12_art8.pdf/)
- UNESCO. (2014). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo: agua y energía, resumen ejecutivo. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000226962/>
- Vignote, S. (2016). Procesos termoquímicos de la madera y en general de la biomasa. https://www.researchgate.net/publication/310697694_PROCESOS_TERMOQUIMICOS_DE_LA_MADERA_Y_EN_GENERAL_DE_LA_BIOMASA/link/583566d808aef19cb82269ee/download/
- Villalba, V. (2019). Determinación de la viabilidad técnica y económica de la combustión del Pgüe (Piptocomma discolor) para su uso como combustible en la Provincia de Pastaza: Puyo: Universidad Estatal Amazónica. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/792>
- Yáñez-Iñiguez, L., Urgilés-Urgilés, E. y Zalamea-León, E. (2020). Potencial de los residuos forestales para la contribución a la matriz energética urbana. *Revista La Granja*, 32(2), 165-202. doi:10.17163/lgr.n32.2020.04/