

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACION PREVIO A LA
OBTENCION DEL TITULO DE**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA

**Determinación de la viabilidad técnica y económica de la
combustión del Pigüe (*Piptocoma discolor*) para su uso
como combustible en la Provincia de Pastaza.**

AUTORA

Shirley Valeria Villalba Pozo

DIRECTOR

Ing. Juan Elías González Rivera MSc.

PUYO-ECUADOR

Junio, 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHO

Yo, Shirley Valeria Villalba Pozo, declaro que las actividades efectuadas para la elaboración y culminación del presente proyecto de investigación con el tema “DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA COMBUSTIÓN DEL PIGÜE (*PIPTOCOMA DISCOLOR*) PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE PASTAZA” se fundamentó en la búsqueda de información fidedigna responsabilizándome en forma legal y académica como la autora del presente trabajo previo a la obtención del título como Ingeniera Agroindustrial.

.....

Villalba Pozo Shirley Valeria

C.I. 160059658-7

CERTIFICADO DE CULMINACION DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

El director de tesis certifica que la egresada ha realizado el Proyecto de Investigación previo a la obtención del título.

.....

Ing. Juan Elías González Rivera MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICACION DE REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCION DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADEMICO



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis URKUN Valeria 2019.docx (D54491825)
Submitted: 7/19/2019 3:58:00 PM
Submitted By: jgonzalez@uea.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

Gasificación actual proyecto-1.docx (D45563207)
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/233167/Manual_PRONADEN.pdf
<https://core.ac.uk/download/pdf/51196282.pdf>
https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/15799/TESIS_JUAN%20FERNANDO_SALDARRIAGA%20ELORZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3687/1/Documento%20final%20Metodolog%C3%ADa%20Potencial%20Energ%C3%A9tico%20Biomasa.pdf>
<https://es.slideshare.net/sergioluisgarcia/punto-de-equilibrio-y-relacion-beneficio-costos>

Instances where selected sources appear:
14

CERTIFICADO DE APROBACION POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACION

El tribunal de sustentación del Proyecto de Investigación aprueba el proyecto de investigación **“DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA COMBUSTIÓN DEL PIGÜE (*PIPTOCOMA DISCOLOR*) PARA SU USO COMO COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE PASTAZA”**.

.....

Dr. Amaury Pérez Martínez

Presidente del Tribunal

.....

MSc. Igor Ernesto Diaz Kovalenko

Miembro del Tribunal

.....

MSc. Aida Salome Romero Vistin

Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme acompañado
y guiado a lo largo de mi carrera,
por ser mi fortaleza en momentos de debilidad
y brindarme una vida llena de aprendizaje.

A mis padres por apoyarme en todo momento,
por los valores que me han inculcado
y haberme dado la oportunidad
de continuar con mis estudios profesionales.

A mis abuelos, por haber creído
en mí, hasta el último momento
de mi carrera.

A todas las personas que de uno
u otro modo colaboraron para la realización
de este trabajo y especialmente
al Ing. Juan Elías González Rivera MSc,
docente de la Universidad Estatal Amazónica,
por su tiempo y guía en el desarrollo
del presente proyecto.

DEDICATORIA

El presente trabajo está
dedicado a mi madre Mayra,
quien es el motivo y
razón para superarme.

A mis abuelitos Rodrigo
y Georgina, por ser los pilares
fundamentales en mi vida.

A mi hermana Jinetee
y demás familiares,
por su apoyo incondicional
para el cumplimiento de
esta meta.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

El *Piptocoma discolor* (Pigüe) es considerado como una especie nativa del bosque secundario de la región Amazónica, su uso está destinado a la fabricación de cajas para el transporte de frutas, mediante procesos de transformación primaria. Sin embargo no se cuenta con una alternativa de viabilidad técnica y económica a nivel industrial, recientemente la importancia en su crecimiento y el posible uso para la producción de energía eléctrica. El potencial de biomasa promedio en la provincia de Pastaza es 41097686,87 toneladas, con características físicas, de densidad en fresco 759 kg/m^3 y en seco 560 kg/m^3 y un contenido de humedad de equilibrio de 12 %, la eficiencia de un combustible está dada por el poder calorífico su la densidad. A través de las ecuaciones de regresión se estimó el poder calorífico superior del *Piptocoma discolor* obteniendo como resultado un valor de 19,097 MJ/kg y el poder calorífico inferior de 17,982 MJ/kg, se prevé aprovechar el 1% de la biomasa total, así contribuir al desarrollo de la matriz energética, sin afectar al medio ambiente. Según el análisis financiero la inversión total para el proyecto es 2400153,1 dólares, de los cuales el 11% corresponde al aporte de los productores, la cantidad evidencia la factibilidad tanto técnica y económica del Pigüe para la producción energética del país.

Palabras claves: Pigüe, biomasa, combustión, poder calorífico.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The *Piptocoma discolor* (Pigüe) is considered as a native species of the secondary forest of the Amazon region, its use is destined to the manufacture of boxes for the transport of fruits, through primary transformation processes. However, there is no alternative of technical and economic feasibility at industrial level, recently the importance in its growth and the possible use for the production of electric power. The average biomass potential in the province of Pastaza is 41097686.87 tonnes, with physical characteristics, fresh density 759 kg / m³ and dry 560 kg / m³ and an equilibrium moisture content of 12%, the efficiency of a fuel is given by the calorific value of its density. Through the regression equations, the higher calorific value of the *Piptocoma discolor* was estimated, obtaining a value of 19,097 MJ / kg and the lower calorific value of 17,982 MJ / kg, it is expected to take advantage of 1% of the total biomass, thus contributing to the development of the energy matrix, without affecting the environment. According to the financial analysis, the total investment for the project is 2400153.1 dollars, of which 11% corresponds to the contribution of the producers, the amount demonstrates the technical and economic feasibility of Pigüe for the country's energy production.

Keywords: Pigüe, biomass, combustion, calorific power.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I	xv
1. INTRODUCCION	xv
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y SU JUSTIFICACION	xvi
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	xvi
1.3. OBJETIVOS	xvi
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	xvi
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO	xvi
CAPITULO II	1
2. FUNDAMENTACION TEORICA DE LA INVESTIGACION	1
2.1. ANTECEDENTES	1
2.2. BASES TEORICAS	2
2.2.1. BIOMASA	2
2.2.2. PROPIEDADES	2
2.2.3. COMPOSICION Y ESTRUCTURA QUÍMICA	3
2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES	4
2.2.5. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA	4
2.2.5.1. GASIFICACIÓN	5
2.2.5.2. PIROLISIS	6
2.2.5.3. COMBUSTIÓN	6
2.2.5.3.1. TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN	7
2.2.5.3.2. PROCESO DE COMBUSTIÓN	8
2.2.6. PODER CALORIFICO Y ENTALPIA	10
2.2.7. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL PIGÜE	12
2.2.8. ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION	12
CAPITULO III	14
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	14
3.1. LOCALIZACIÓN	14
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	15
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	15
3.3.1. MÉTODO DE MUESTREO	15
3.3.2. ASTILLADO	16
3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA	16

CAPITULO IV	22
4. RESULTADOS ESPERADOS	22
4.1. COMPOSICIÓN DEL PIGÜE	22
4.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS	22
4.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS	22
4.1.3. PARÁMETROS TERMOQUÍMICOS	23
4.2 ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION	25
4.3 FACTIBILIDAD DEL USO DEL PIGÜE COMO FUENTE ENERGÉTICA	27
CAPITULO V	29
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
5.1. CONCLUSIONES	29
5.2. RECOMENDACIONES	29
CAPITULO VI	30
6. BIBLIOGRAFIA	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los biocombustibles forestales.....	4
Tabla 2. Ecuaciones para calcular el poder calorífico.	11
Tabla 3. Ecuaciones para calcular el poder calorífico inferior	11
Tabla 4. Total del potencial de biomasa a partir del Pigüe de la Provincia de Pastaza.....	14
Tabla 5. Granulometría de la astilla de biomasa.....	22
Tabla 6. Análisis elemental, proximal y calorimétrico del Pigüe.....	23
Tabla 7. Combustión discontinua de la biomasa.	23
Tabla 8. Entalpía de formación y reacción del Pigüe.	24
Tabla 9. Poder calorífico superior del Pigüe.	25
Tabla 10. Costos fijos del proyecto.	25
Tabla 11. Costos variables del proyecto.	26
Tabla 12. Costo de mano del proyecto.	26
Tabla 13. Producción anual de energía.....	26
Tabla 14. Estructura del capital para el proyecto.	27
Tabla 15. Financiamiento del proyecto.	27
Tabla 16. Parámetros de factibilidad del Pigüe.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Procesos de conversión energética de la biomasa.....	5
Figura. 2. Proceso de combustión.....	9

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

El desarrollo y la consolidación de fuentes de energía alternativas a los combustibles fósiles han sido y siguen siendo los objetivos prioritarios en países desarrollados. Disminuir la dependencia energética y reducir los gases del efecto invernadero, son políticas que han impulsado a aprovechar el agua, el viento, el sol y la biomasa (Canalis, 2012). El uso energético de la biomasa se ha considerado una gran alternativa para sustituir los combustibles fósiles, para su aprovechamiento es necesario conocer sus propiedades y composición (Rincón & Klose, 2011), su eficiencia está dada por el poder calorífico y la densidad, los cuales dependen del tipo de biomasa y su humedad (Toscano, 2009). Una de las rutas principales para obtener energía es a través de la combustión, este proceso abarca cuatro etapas que son: secado, pirolisis, gasificación y combustión (Saldarriaga, 2015).

En Ecuador se ha realizado estudios del balance energético considerando fuentes renovables; hoy en día generan 101 MW, utilizando bagazo de caña (Correa., 2013-2017). A pesar de ello no se satisface las necesidades de la demanda de la población, en áreas rurales de la región amazónica (Bravo, 2010), tal es el caso del cantón Arajuno, el cual presenta muchos problemas con los servicios básicos, el olvido de las autoridades nacionales y provinciales, y la falta de gestión local son las causas principales para una mínima cobertura de los servicios básicos (Cueva, 2014), 36 de cada 100 viviendas tienen acceso al servicio eléctrico, 3% se provee de energía a través de plantas eléctricas y, un preocupante 60% no tiene acceso a energía eléctrica (INEN, 2010).

Con este trabajo se pretende desarrollar un estudio profundo del Pigüe como biomasa energética, sus propiedades y características físico-químicas para su utilización como combustible. Los resultados de este trabajo contribuirán a expandir el empleo de las Fuentes Renovables de Energía con todas las ventajas y bondades que presenta el uso de la biomasa como combustible.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION Y SU JUSTIFICACION

El problema central parte del desconocimiento de los comportamientos químicos y térmicos, de los procedimientos tecnológicos para el aprovechamiento completo de la especie de Pigüe, a través de la combustión, involucrando la aplicación del potencial de biomasa, que permita desarrollar la transformación de la biomasa en energía eléctrica. Existe una gran cantidad de residuos de esta especie resultante de la comercializa de madera la cual se destina como materiales de construcción y materiales de embalaje para transportar frutas.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Debido a la gran cantidad de biomasa forestal en el Ecuador, principalmente en la Amazonia Ecuatoriana y el deficiente acceso a los servicios básicos para las comunidades indígenas ha hecho que se considere la utilización del Pigüe como fuente alternativa para la producción de energía. A pesar de que existen otras fuentes de energía renovable como es el agua, en donde se aprovecha la caída de la misma para generar electricidad, en la provincia Pastaza los ríos no cuentan con la suficiente altura, esto hace que no se utilice esta fuente para satisfacer el servicio energético.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad técnica y económica de la combustión del Pigüe (*Piptocoma discolor*) para su uso como combustible en la Amazonía Ecuatoriana.

1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

1. Determinar los parámetros físicos, químicos y termoquímicos del Pigüe para su utilización con fines energéticos.
2. Estimar los costos de producción de la combustión de la biomasa.
3. Determinar la factibilidad del uso de Pigüe como fuente generadora de energía eléctrica.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACION TEORICA DE LA INVESTIGACION

2.1. ANTECEDENTES

El aumento en los costos de los combustibles fósiles es una de las razones para la implementación de nuevas fuentes de energía (REN21, 2017) para la producción energética, esto ha hecho que se busque nuevas formas de energías renovables. La biomasa forestal resulta una gran alternativa para lograr un modelo energético sostenible capaz de reducir las emisiones de CO² (Aldamá, 2010). Es la forma más antigua de energía, desde la prehistoria las personas han utilizado este tipo de energía por medio de combustión directa, la ventaja que presenta frente a otras fuentes renovables es que tiene la capacidad de almacenar energía en forma de enlaces químicos (Oviedo & Lugo, 2015), El aserrín, astilla, pellets y briquetas son los combustibles forestales más utilizados, siendo una salida deseada para la generación de electricidad (ISOGIS, 2010).

En la actualidad, el 98% del mercado depende del petróleo, esto ha hecho que se busque alternativas para la diversificación energética (Oviedo & Lugo, 2015), la biomasa vegetal se ha venido convirtiendo en una opción importante para países que dependen de combustibles fósiles, surgiendo como una tecnología prometedora, cualquier biomasa de tipo vegetal pueden emplearse como combustible debido a la presencia de moléculas celulósicas que contienen energía en sus enlaces que se libera bajo condiciones de oxidación total o parcial (Mendoza. & Lesmes, 2012).

El uso de maderas no convencionales permite a las personas mejores estilos de vida (CIFOR, 2014). La importancia del estudio del potencial de biomasa forestal como Energía Renovables (ER), es por su reposición continua por procesos naturales (Naciones Unidas, 2014). Las técnicas de análisis de la biomasa, permiten el cálculo del volumen aparente, por modelos matemáticos (Velázquez & Ruiz, 2010). Se considera su utilización como cultivo energético, por su crecimiento rápido y natural (González. & Oliva, 2018). La conversión energética suple solamente 3% de la energía primaria en países industrializados. Sin embargo, parte de la población rural de los países subdesarrollados dependen de la biomasa tradicional como la leña (FOCER. F. d., 2002).

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. BIOMASA

La biomasa es la fuente energética más importante para la humanidad, proviene de sustancias orgánicas de origen vegetal o animal; procedentes de la agricultura, ganadería y los aserraderos (Nogués & Royo, 2002).

La biomasa vegetal, producida a través del proceso de la fotosíntesis, representa alrededor del 1% de la energía solar, la cual es almacenada como energía química en los enlaces moleculares C, H y O₂, cuando estos se rompen por procesos bioquímicos o termoquímicos se produce la liberación de la energía almacenada (McKendry, 2002). Es por ello que la biomasa se considera como una gran alternativa para la producción de energía a nivel mundial. (González. & Oliva, 2019).

Se clasifica en primaria que proviene directamente de un ecosistema natural y secundaria como residuo o subproducto. De acuerdo al uso final se clasifica en biocombustibles sólidos proveniente de procesos agrícolas o de la madera y biomasa residual húmeda. Antiguamente la forma más común de utilizar la biomasa en forma de energía ha sido por medio de la combustión directa, es decir quemándolas. Hoy en día se utiliza como combustible en calderas para producir calor, vapor e incluso generar electricidad (Gaona, 2014). En comparación con los recursos energéticos fósiles presenta ventajas considerables al ser utilizada como recurso energético, convirtiéndola en una fuente potencial de gran importancia para la producción de electricidad (Muñoz, 2007), pues produce una cantidad inferior de cenizas que el carbón mineral.

2.2.2. PROPIEDADES

La biomasa desde el punto de vista como potencial energético pudiese reemplazar a los combustibles fósiles, a continuación, se menciona los aspectos más relevantes que presenta la biomasa forestal (Quintero & Quintero, 2015).

- Estructura química (celulosa, hemicelulosa y lignina).
- Composición elemental: carbono, hidrogeno, nitrógeno, oxígeno y azufre (CHNOS).
- Carbono fijo, material volátil, cenizas y humedad

- Contenido energético.

En todo el mundo se prevé que la producción de energía mediante biomasa juegue un papel importante para una matriz energética sostenible (Quintero & Quintero, 2015).

2.2.3. COMPOSICION Y ESTRUCTURA QUÍMICA

La madera es un biopolímero formado por holocelulosa, lignina y compuestos secundario (Gutiérrez & Romero, 1998). En base a su peso, la madera está compuesta de 20-40% de lignina, 30-50 % de celulosa, 9-28 % de pentosanas y 0.2-20 % de extractivos (Rutiaga. & JG, 2001). La cantidad y la composición de los compuestos extraíbles varían según la especie, la época del año y la parte de la planta.

Está constituida por carbono (50%), oxígeno (43%), hidrógeno (6%) y otros elementos que se encuentran en menor proporción como nitrógeno y azufre (Romelli & Pasquale, 2015). Entre los componentes estructurales se encuentran la celulosa, hemicelulosa y lignina los cuales representan entre el 80-90%, en los componentes no estructurales se encuentran el agua, cenizas, sustancias no extraíbles representan entre el 5-10% (Rivas, 2014).

La celulosa que es un polisacárido de formula $(C_6H_{10}O_5)_n$ con elevado peso molecular, es la biomolécula orgánica más abundante (Gutiérrez & Romero, 1998), se encuentra en forma de fibras alargadas que tienden a formar puentes de hidrógeno. La hemicelulosa es un polisacárido constituidas por monosacáridos, de estructura amorfa, comprende entre el 30 – 35% (Álvarez & Folgueras, 2012). La lignina $(C_{10}H_{15}O_3)_n$ es una molécula con alto peso molecular que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes, es el polímero más complejo en relación a su estructura química, permite trasportar el agua y nutrientes, proporciona dureza, rigidez y resistencia (Bustamante & Hernández, 2016). Las sustancias extraíbles son aquellas que se extraen de diferentes partes de los árboles y representan aproximadamente del 3-10% (Paz, 2008).

La biomasa vegetal contiene un alto porcentaje de material volátil, superior al 80%. Este es considerado como la porción de gases condensables y no condensables. El contenido de carbono fijo es la porción de combustible resultante después de la remoción de cenizas, material volátil y humedad, se obtiene por diferencia de cálculo (Cárdenas., 2018). El contenido de cenizas indica la cantidad de materia sólida que representa alrededor del 1% (FOCER., 2002). La madera verde contiene agua en 3 estados: en forma líquida,

higroscópica y como vapor de agua, por ello es necesario determinar el contenido de humedad, la mayoría de los procesos de conversión energética demandan que la biomasa tenga una humedad inferior al 30% (Yánquez, 2012).

Además de sus propiedades físicas, la unidad estructural de todo organismo vegetal es la célula, la cual está compuesta por una pared celular de capa resistente, flexible, en ocasiones rígida, proporciona soporte estructural a las plantas (Bustamante & Hernández, 2016).

2.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

En la actualidad existe una gran diversidad de combustibles sólidos como leña, astillas, briquetas y pellets, que por sus características pueden ser utilizados para fines energéticos (Amengual. & Álvaro, 2013). En la tabla 1 se presentan las características principales que influyen en el comportamiento energético de los diferentes biocombustibles forestales.

Tabla 1. Características de los biocombustibles forestales.

Parámetros	Características
Físicos	1. Tamaño 2. Humedad 3. Densidad
Químicas	1. Poder calorífico 2. Composición química
Físico-químicas	1. Coeficiente de conductividad térmica 2. Combustibilidad

Fuente: (Marcos. & Castellano, 2001).

La biomasa forestal por sus características es una fuente importante para la producción de electricidad. Su eficiencia como combustible está asociada a la densidad (Sener, 2012).

2.2.5. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

Para el tratamiento de la biomasa existen varios procesos entre ellos se encuentra los procesos o ruta termoquímica, en donde la energía contenida es transformada en energía térmica y otros productos como gases y vapor (Heraz, 2012). Los procesos más relevantes

para la transformación de la biomasa en calor y electricidad son la combustión, gasificación y pirólisis (Carrasco, 2008), los mismos que se presentan en la figura 1.

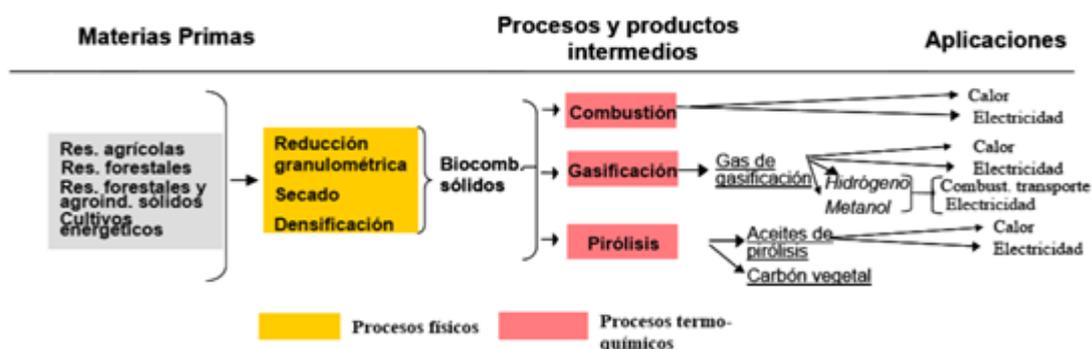


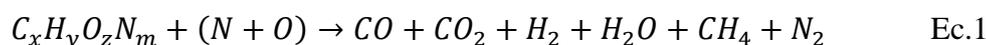
Figura. 1. Procesos de conversión energética de la biomasa.

Tomado de: (Carrasco, 2008)

2.2.5.1. GASIFICACIÓN

Se define como el conjunto de reacciones termoquímicas, en presencia de poco oxígeno que da como resultado la transformación de un sólido en gas, tras ser acondicionados podrán ser utilizados en caldera, turbina o motor (BESEL, 2007).

Proceso en el que mediante oxidación parcial y a una alta temperatura una materia prima (sólido) se convierte en gas con un determinado poder calorífico. Es considerada como una técnica para reducir el volumen de los residuos sólidos convirtiéndola en una vía para obtener energía. La energía química contenida en el sólido pasa al gas, el cual puede ser utilizado en como combustible en calderas, motores y turbinas, contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogeno (H₂), metano (CH₄), pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados, como el etano (C₂H₆) y el etileno (C₂H₄), agua (H₂O), nitrógeno (N₂), y diversos contaminantes como cenizas y productos condensables. La madera está compuesta por celulosa (30 - 40%), hemicelulosa (24 - 35%) y lignina (15 - 30%) dependiendo de la especie (Castells, 2012). De esta manera obteniendo la siguiente reacción química.



La madera está compuesta por celulosa (30 - 40%), hemicelulosa (24 - 35%) y lignina (15 - 30%) dependiendo de la especie. La biomasa se caracteriza a partir del análisis inmediato

constituido por humedad, carbono fijo, volátiles y cenizas y el análisis elemental formado por carbono, hidrogeno, nitrógeno, oxígeno y azufre. La madera está constituida en un rango de 50% Carbono, 43% Oxigeno, 6% hidrogeno, 0,1% Nitrógeno (Castells, 2012).

2.2.5.2. PIROLISIS

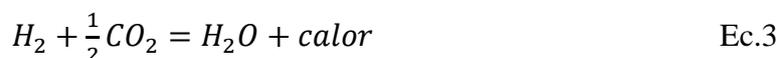
La pirolisis es considerada como el primer paso de la gasificación. Se puede definir como el proceso térmico de descomposición de la biomasa a temperatura de 200 - 250°C, se inicia con el desprendimiento de los compuestos volátiles, es una reacción rápida y compleja (Martínez, 2009). También se conoce como carbonización que es la degradación térmica de la materia orgánica presente en la biomasa, se obtiene productos sólidos, líquidos y gaseosos que pueden ser utilizados como combustible, ocurre a temperaturas superiores a los 500°C (Ricón & Klose, 2011).

2.2.5.3. COMBUSTIÓN

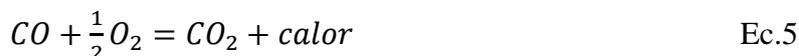
El proceso de combustión es la transformación de la energía intrínseca de la materia en energía térmica a través de la oxidación de un combustible. La cantidad de energía que se produce varía según las propiedades y composición de la biomasa. Es una reacción de oxidación a altas temperaturas y en presencia de oxígeno de los componentes de la biomasa para producir su oxidación total, como productos de esta reacción se obtiene energía en forma de calor, agua, cenizas y dióxido de carbono (Carrasco, 2008).

Las condiciones y límites para que se produzca la combustión varían de acuerdo a las proporciones de combustible y comburente desde la estequiometria en los dos sentidos como resultado de las mezclas, naturalmente estos límites dependen de la presión existente en el medio; partiendo de estos efectos se entiende por combustión a la combinación rápida del oxígeno con un combustible, en donde existe un desprendimiento de calor (Del Pozo, 1982).

Las reacciones de combustión completa son:



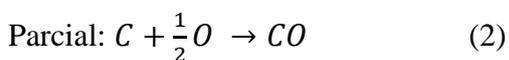
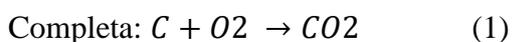
En algunos gases el carbono y oxígeno se encuentra en forma de monóxido de carbono (Del Pozo, 1982), la reacción para estos casos es:



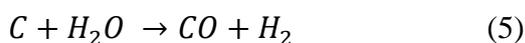
Química de la combustión

El sólido libera los compuestos volátiles y se forma un residuo carbonoso, las reacciones que se producen son muy complejas entre ellas se encuentran la reacción de formación de hidrógeno (shift) y metano (metanización) (Castells, 2012).

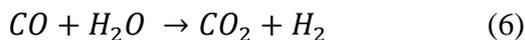
Combustión (reacción exotérmica)



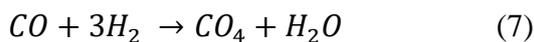
Gasificación



Shift (exotérmica)



Metanización (exotérmica)



Los residuos carbonosos en presencia de oxígeno, tiende a combustionar (reacción 1). La presencia de CO es debido a la insuficiencia de oxígeno (reacción 2). El exceso de residuos carbonosos reacciona con CO₂ y agua (reacción 3 y 5). La presencia de vapor de agua favorece a las (reacciones 5 y 6), dando como resultado la producción de hidrogeno. En la (reacción 7) las altas temperaturas dan paso a la formación del gas metano (Castells, 2012).

2.2.5.3.1. TECNOLOGÍAS DE COMBUSTIÓN

Las tecnologías más utilizadas para este proceso van desde un fogón abierto hasta calderas de alto rendimiento (Toscano, 2009). Entre ellas están:

- **Combustión directa**

La biomasa es oxidada directamente hasta dióxido de carbono y agua, la inversa de la fotosíntesis es la ecuación de la reacción de combustión, este proceso se lo realiza en presencia de aire como agente a temperaturas que oscilan entre 800 – 1000°C, involucra una etapa de pirolisis y otra de gasificación antes de llegar a la combustión (Carrasco, 2008).

- **Combustión en lecho fluidizado**

Proceso por el cual se convierte un lecho en partículas en estado fluido por medio de una corriente ascendente de gas o líquido, en donde las partículas tienen a separarse, iniciando la expansión del lecho, debido a la baja demanda de aire, la temperatura oscila entre 650 y 900°C (Matiauda. & Rivero, 2012).

- **Combustión en lecho pulverizado**

Adecuada para combustibles em forma de partículas de menor diámetro y biomasa vegetal como aserrín y viruta en donde la humedad el combustible no debe sobrepasar el 20% de humedad (Saldarriaga, 2015).

2.2.5.3.2. PROCESO DE COMBUSTIÓN

Para llevar a cabo el proceso de combustión se tomará en cuenta desde la materia prima hasta obtener vapor y transformarlo en energía eléctrica (Ver figura 2), tal como se describe a continuación: a) La materia prima a utilizar es el Pigüe, árbol de madera blanda que puede alcanzar 30 metro de altura (Erazo. & Putzel, 2014), b) seguidamente se pasa a un proceso de separación, en donde se clasifica las ramas y las trozas, c) a continuación se realiza el descortezado el cual consiste en separar la corteza de la madera para evitar daños en las sierras (Aguilar. & Estela, 2011), d) una vez culminado con este proceso se transporta la madera hasta la central utilizando camiones o tráileres, en donde se almacena las piezas en lugares cubiertos, para evitar que incremente su contenido de humedad, e) posteriormente se realiza un secado de la madera, bajo techo para evitar que la madera sufra cambios no deseados (Sinchi, 2009). f) En el astillado se convierte la biomasa de mayor tamaño en menor tamaño (Nogués & Rezeau, 2010), las astillas oscilan entre 5 y 100 mm, su calidad depende de la especie, de las tecnologías y la uniformidad del tamaño

de sus partículas. g) Las astillas se someten a un proceso de secado para reducir su humedad y tener mejor rendimiento (Arpi. & Santiago, 2010), para producir astilla de calidad es necesario utilizar biomasa sin corteza (Valter & Luca , 2008). h) Concluido con el proceso de astillado, las partículas secas son sometidas a un control de calidad (Amengual. & Álvaro, 2013), las astillas de mayor tamaño regresaran al proceso de astillado mientras que el resto continuara a la siguiente etapa de alimentación y dosificación (Arpi. & Santiago, 2010). i) Para obtener la energía eléctrica el central somete la materia forestal a distintos procesos de trasformación (EPEC, 2010).

1. La biomasa se quema en calderas
2. El calor que se obtiene de esta combustión es utilizado para generar vapor
3. Este vapor mueve una turbina la cual se encuentra conectada a un generador
4. El generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica
5. La electricidad generada se distribuye a través de una red

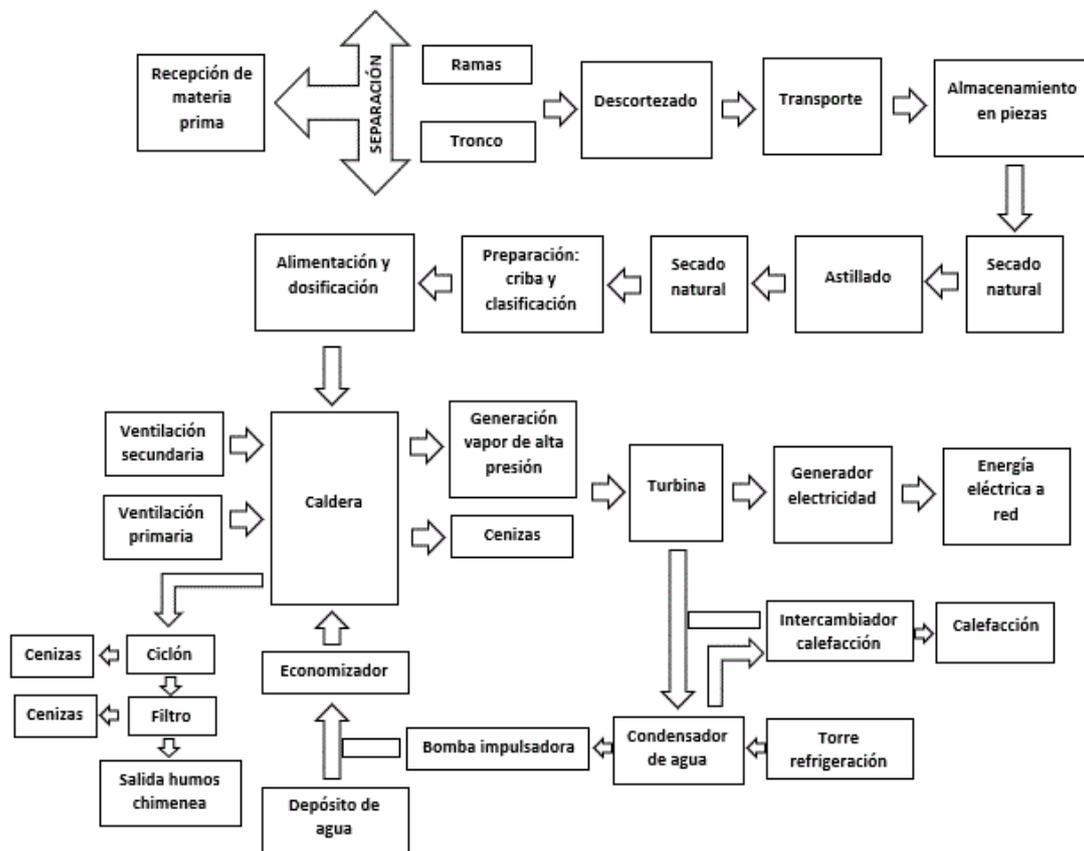


Figura. 2. Proceso de combustión.

Fuente: (Amengual. & Álvaro, 2013).

La potencia de una caldera se expresa de acuerdo a la cantidad de vapor por hora (Abarca, 2006), las mayores pérdidas de energía en un sistema de vapor se encuentran en la caldera y en el sistema de distribución de vapor, esto hace que su eficiencia sea de 55-75% (MGM, 2018).

- a) Pérdidas en los gases de combustión (18-22%).
- b) Pérdidas por radiación y convección (1-4%).
- c) Pérdidas de calor en purga (1-3%).
- d) Pérdidas en el sistema (5-15%).

2.2.6. PODER CALORIFICO Y ENTALPIA

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que se produce de la combustión completa de una unidad de masa; depende de las características químicas del combustible a utilizar y su humedad, se clasifica como superior (PCS) y poder calorífico inferior (Burschel. & Lobos, 2003). El poder calorífico superior PCS, es aquel desprendido al final de la combustión, cuando el agua del producto se encuentra en forma líquida y el poder calorífico inferior PCI, cuando el agua en los productos está en forma de vapor (Arroyo & Reina, 2016).

Se distingue tres tipos de poderes caloríficos: el poder calorífico superior o poder calorífico bruto a volumen constante; calor generado en la combustión de un material vegetal, en un recipiente cerrado, al cual se añade el calor que se obtiene en la condensación del agua en el proceso, su presión es variable ya que aumenta a medida que se producen los gases que resultan de la combustión, el poder calorífico inferior o poder calorífico neto a volumen constante; calor obtenido por unidad de masa procedente de la combustión en un recipiente cerrado en donde el vapor producido queda libre y el poder calorífico neto a presión constante es el calor desprendido en un espacio abierto con abundante aire el cual se encuentra a presión atmosférica, los gases que se producidos quedan libres (Borja Velázquez M. , 2018).

Para la determinación del poder calorífico superior existen numerosas ecuaciones, basadas en los diferentes análisis que se realiza a la biomasa, en la tabla 2 se observan ecuaciones propuestas por diferentes autores.

Tabla 2. Ecuaciones para calcular el poder calorífico.

Según el análisis químico	
Ecuación	Referencia
$PCS = 0,17389[Ce] + 0,26629[L] + 0,32187[E]$	(Shafizadeh, 1976)
$PCS = 0,19389[Ce] + 0,26629(100 - [Ce^*])$	(Tillman , 1978)
$PCS = 17,9017 + 0,07444[L^*] + 0,0661[E]^a$	(White, 1986)
$PCS = (1 - [Cenizas]/([Ce] + [L] + [E]))(0,17389[Ce] + 0,26629[L] + 0,32187[E])$	(Jiménez & González, 1991)
$PCS = 0,0883[L^{**}] + 16,9742$	(Demirbaş, 2003)
Ce: celulosa (celulosa y hemicelulosa) (% peso base seca); L: lignina (% peso base seca); E: extraíbles (% peso base seca).	
Según el análisis elemental	
$PCS = 8100C + 34000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S$	(Vignote, 2016)
$PCS = 0,3491C + 1,1783H + 0,1005S - 0,0151N - 0,1034O - 0,0211A \left[\frac{MJ}{kg} \right]$	(Van Loo & Koppejan, 2008)
C: carbono; O: oxígeno; H: hidrogeno; S: azufre; N: nitrógeno; A: cenizas.	

Fuente: (Álvarez & Folgueras, 2012).

Ecuaciones para calcular el poder calorífico según el análisis elemental (ver Tabla 3).

Tabla 3. Ecuaciones para calcular el poder calorífico inferior

Ecuación	Referencia
$PCI = PCS - \frac{600h}{1 + h}$	(Vignote, 2016)
$PCI = PCS \left(1 - \frac{W}{100} \right) - 2,444 \left(\frac{W}{100} \right) - 2,444 \left(\frac{H}{100} \right) * 8,936 \left(1 - \frac{W}{100} \right) \left[\frac{MJ}{kg} \right]$	(Van Loo & Koppejan, 2008)
$PCI = PCS - \frac{600(u + 9h)}{1 + u}$	(Arroyo & Reina, 2016)
PCS: poder calorífico superior; 600: calor de vaporización a 0°C; h, W o u: contenido de humedad o hidrogeno; H: hidrogeno; 9: agua q se forma al oxidad un kilo de hidrogeno.	

Fuente: Elaboración propia

Entalpia

La entalpia representa el flujo de calor en cambios químicos que se efectúan a presión constante cuando no se efectúa más trabajo que el trabajo presión-volumen (Atkins & De Paula, 2008). La entalpia, H, se define como:

$$H = U + pV$$

donde U es la energía interna, p es la presión y V es el volumen del sistema. Debido a que U, p y V son funciones de estado, la entalpia también lo es.

2.2.7. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL PIGÜE

Para la estimación del potencial biomásico total en la provincia de Pastaza se tomó en cuenta el cociente entre la producción anual de biomasa en toneladas. Según el inventario de la provincia de Pastaza cuenta con 41.097.686,87 T de biomasa del Pigüe, del mismo que se prevé aprovechar 36987,92 T anualmente lo que corresponde al 1% del total de la biomasa estudiada. Significa que por día se aprovechará 101,34 T de madera fresca, de las cuales se obtiene para la combustión 39,90 T de materia seca para la industria en la generación de energía alternativa y renovable en la provincia de Pastaza, cantón Arajuno (González & Borja, 2019).

El Pigüe, en asociación con otras especies tiene mayor relevancia por su abundancia natural, con respecto a los pastos y chacras (Hurtado, 2013). Su dominio hace que tenga interés con respecto a las otras especies de la zona; y de esta manera contando con 8754 m³, anualmente en la provincia de Pastaza según el (MAE., 2009). Como residuos de biomasa desaprovechada anualmente en relación a esta especie en corteza 3.919,06m³, canteado 8.942,42 m³ y de aserrín de 7.712,43 m³. Esto representa un 70,15% de biomasa no aprovechada y 29,85% se aprovecha en forma de madera para la industria dando un total de 29.327,91 m³, siendo un recurso de gran de interés para la producción de energía (Pérez, 2016).

2.2.8. ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION

La contabilidad de costos determina el costo total para la realización de un proceso productivo, se clasifican según su función en costos de producción, costos de administración y costos de distribución o ventas (Rojas, 2007). Se entiende como una

técnica contable que permite calcular lo que cuesta prestar un servicio o fabricar un producto (Jiménez W. , 2010).

Los costos de producción son aquellos asociados a la fabricación de bienes, es decir aquellos necesarios para transformar la materia prima en productos terminados (FCA, 2003). Se clasifican en costos fijos si permanecen constantes, no están en función del tiempo, es decir, no varían o sufren alteraciones con el volumen de producción y variables aquellos que cambian en relación directa con los aumentos o disminuciones de la producción (Cabrera, 2010).

Los elementos del costo de producción se clasifican en:

- Materia prima

La materia prima, es el primer elemento del costo, es todo elemento que se transforma en un producto final (Robles , 2012).

- Mano de obra directa

La mano de obra se define como el esfuerzo físico o mental que se emplea para elaborar un producto, son los costos relacionados con los individuos involucrados en el proceso productivo (Martínez Y. , 2015).

- Gastos de fabricación

Son aquellos que intervienen en el proceso de transformación de la materia prima en productos terminados (Magallón , 2015).

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente proyecto de investigación se desarrolló en el cantón Arajuno, provincia de Pastaza, una vez verificados trabajos de investigación realizados con anterioridad se pudieron determinar que existe una mínima cobertura de energía eléctrica. La explotación de los recursos forestales constituye la actividad de mayor movimiento económico, dejando como resultado grandes cantidades de residuos que pudieran ser utilizados con fines energéticos (Cueva, 2014).

El Pigüe es un árbol de madera blanda y puede alcanzar una altura máxima de 30 m; diámetro del tronco de aproximadamente 60 cm, con forma cilíndrica (Vallejo, 1982), se desarrolla en distintos pisos altitudinales de 500 a 1500 m.s.n.m y temperatura media de 20°C, comprende un radio de 25 a 30 Km de la provincia de Pastaza (Merino, 2010). Es una especie nativa de la Amazonia (Erazo & Louis, 2014) distribuida por toda la región amazónica formando extensos bosques secundarios, la mayor densidad de estos árboles se encuentran dentro de la provincia y cantón Pastaza (González. & Oliva, 2018), en la tabla 4 se muestra el potencial de producción de biomasa en cada cantón.

Tabla 4. Total del potencial de biomasa a partir del Pigüe de la Provincia de Pastaza.

No.	Cantones	Peso Total (kg/ha)	No. (ha de Pigüe)	Subtotal	Peso Total
				(kg de Pigüe)	(ton de Pigüe)
1	Pastaza	220286,3	44879,0	9886230353,7	9886230,4
2	Arajuno	384670,0	13461,0	5178042870,0	5178042,9
3	Mera	253247,3	15714,0	3979528596,0	3979528,6
4	Santa Clara	136560,4	26933,0	22053885052,5	22053885,1
	Total	1677046,2	100987,0	41097686872,2	41097686,9

Fuente: (González & Borja, 2019).

Del total de materia prima que es 41097686,9 toneladas de la especie del Pigüe, se pueden extraer del bosque una cantidad de 36987,9 toneladas de Pigüe al año, lo que corresponde al 1% de la biomasa disponible, esto lleva a disponer de un potencial de 897217,5

toneladas por mes. Esta cifra representa una cantidad considerable en términos de potencial energético en el torno a los 14714,4 MW de potencia anual.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación será de tipo descriptiva y analítica, por cuanto las unidades a estudiar son los parámetros de combustión del Pigüe (poder calorífico inferior y superior, calor generado y energía total), para el aprovechamiento como combustible.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para calcular el potencial energético, una de las alternativas es el método bromatológico, el cual determina los componentes presentes de una muestra, en lo referente al poder calorífico utilizaron una bomba calorimétrica, según la Norma DIN 51900 (Gómez & Wiest, 2004). De igual similitud fue el poder calorífico superior de la madera y carbón de once especies forestales de la amazonia peruana (Rivera & Uceda, 2004).

Otros investigadores han utilizado ecuaciones de regresión para expresar el poder calorífico superior (PCS) de la madera de estas cuatro especies forestales, *A. mearnsii* (zarzo negro), *E. grandis* (eucalipto), *M. scabrella* (bracatinga) y *A. glazioviana* (timbo), en función de los contenidos de material volátil (CMV), ceniza (CC), carbono fijo (CCF) y materia orgánica (CMO) (Da Silva. & Paula, 2014).

De lo anteriormente se consideró para la investigación, aplicar modelos matemáticos, en función a la composición del Pigüe obtenidos por el MSc. Juan Elías González, mediante análisis químico, térmico y bromatológico en relación al programa SPSS V22.0, el cual permitirá conocer el modelo matemático para calcular el poder calorífico superior, posteriormente el inferior, en base a los datos obtenidos en el analizador elemental modelo vario MACRO cube y validar con los resultados de la bomba calorimétrica.

3.3.1. MÉTODO DE MUESTREO

Los estudios experimentales empleados fueron: método de muestreo desarrollado en los cantones: Pastaza, Mera, Santa Clara, Arajuno y cálculo del potencial de biomasa con los siguientes criterios: diámetros y categorización de la materia prima, empleando la siguiente clasificación, 3 árboles por cada categoría: primera (10 -15 cm), segunda (16 – 21 cm),

tercera (22 – 27 cm) y cuarta (28 – 33 cm), 12 árboles por cantón dando un total de 48 árboles por los cuatro cantones, con características morfológicas semejantes, esta selección se realizó según la Norma TAPPI – cm-85 de 1985 (González & Oliva, 2019).

3.3.2. ASTILLADO

El astillado se realizó por método mecánico, la preparación de la astilla fue de acuerdo al tamaño que oscila según (Valter., 2008) astillas de un espesor de 2 cm² y 2 cm² de largo, 5 cm² y 8 cm² según (Solar., 2013) para la combustión la astilla contiene una humedad del 45 %. Una vez realizado esta actividad se procedió al proceso de secado en un Horno industrial de Marca American Range, cuenta con rejillas, ventilador, temporizador digital con regulación de temperatura automatizada $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (Navarra., 2015). Para el análisis de la estructura química y térmica fue importante realizar la molienda y reducir el tamaño de la partícula (Cortazar, 2008), según la norma Internacional UNE-EN-15149-2, a través de un molino tipo laboratorio con una tolva paralela, con malla de 3 mm y un motor de 2 HP a 3800 rpm (Cárdenas & Solorio, 2012). Las dimensiones de fracción de la astilla para la caldera según la normativa Europea CEN/TS 14961: 2005 es la clase P45 que corresponde a 3,15 mm y 45 mm, humedad $M2 \leq 20\%$ en seco y cenizas $A0,7 \leq 0,7\%$, presentando grandes ventajas para la industria (Valter & Luca, 2008).

3.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

La caracterización química de la biomasa se preparó según la norma CNS/TS 14780 mediante pruebas de laboratorio que se efectuaron en la Universidad Estatal de Bolívar, localizada en el cantón Guaranda, provincia Bolívar, la Universidad Técnica de Ambato, localizada en Querochaca, cantón Cevallos y en la Universidad Estatal Amazónica, localizada en la ciudad de Puyo, cantón Pastaza.

- **Análisis Proximal o Inmediato**

La caracterización de la composición proximal y elemental de la biomasa permite determinar, si un producto es aceptable como combustible (Bustamante. & Ciro, 2016). El análisis proximal o inmediato mide el contenido de humedad, cenizas, elementos volátiles y carbono fijo (Sánchez de Toledo, 2015).

- **Contenido de humedad**

Se determinó por medio de la norma DIN 51718, se pesó 5 g de cada una de las muestras, en una estufa, a una temperatura de 100 ± 5 °C durante 24 horas consecutivas, para determinar el peso seco de la biomasa triturada, se realizaron varias mediciones de peso, hasta estabilizar su valor, posteriormente se calculó el contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula.

$$CH = \left(\frac{P_{inicial} - P_{seco}}{P_{seco}} \right) * 100 \quad \text{Ec.5}$$

Fuente: DIN 51718

Donde CH es el contenido de humedad, $P_{inicial}$ el peso inicial de la biomasa y P_{seco} el peso seco de la biomasa

- **Contenido de cenizas**

Se determinó según la norma UNE-EN 14775:2010. Se colocó la muestra húmeda en cápsula de porcelana, posteriormente se llevó a una mufla desde temperatura ambiente hasta 500°C por un tiempo de 2 horas y para el cálculo del contenido de ceniza se aplicó la siguiente ecuación.

$$\%C = \frac{100 (m_2 - m)}{(100 - H)(m_1 - m)} \quad \text{Ec.6}$$

Fuente: UNE-EN 14775:2010

Donde C es el contenido de ceniza en % de masa, m la masa del crisol vacío, m_1 la masa del crisol más muestra, m_2 la masa del crisol con la ceniza y H el porcentaje de humedad en la muestra.

- **Contenido de material volátil**

Se pesaron muestras de 10 g. Las muestras pesadas fueron colocadas en un crisol y posteriormente en una mufla a 950°C durante 7 minutos. Transcurrido este tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente y se realizó el pesaje de las mismas como indica la Norma UNE-EN 15148:2010.

- **Contenido de carbono fijo**

El contenido de carbono fijo se determinó de manera indirecta, por diferencia de cálculo, aplicando la siguiente fórmula.

$$CF \% = 100 - (H + C + MV) \quad \text{Ec.8}$$

Donde: CF es el contenido de carbono fijo, H la humedad, C las cenizas y MV el material volátil

- **Análisis elemental o ultimo**

El análisis elemental muestra los elementos atómicos que contiene la biomasa (Bustamante. & Ciro, 2016). Permite determinar la composición del combustible (también en porcentajes en peso) de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S) (Sánchez de Toledo, 2015). El contenido de azufre no se determina, puesto que en la biomasa es despreciable.

Para este análisis se utilizó un analizador elemental modelo vario MACRO cube, orden no. 20.10-0000, serie no. 20144056, funciona a través del método Dumas, es decir por combustión de muestra, post combustión y reducción de los gases obtenidos para su posterior detección, cuenta con un controlador del flujo para así consumir lo mínimo y necesario del gas, es totalmente automático, analiza la mayor cantidad de muestras en menor tiempo.

- **Densidad de la biomasa**

La cuantificación y la estimación del potencial de biomasa en base a los diámetros de la base y final del fuste del árbol, demuestra que consideran las mediciones del método alométrico, los diámetros de las ramas, que permiten concluir el potencial de biomasa (Álvarez E. B., 2013). Con la siguiente ecuación permitió determinar la densidad de la madera.

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ec.9}$$

3.3.4.COMBUSTION

La cinética de la combustión se realizará por método discontinuo a cuatro temperaturas para la especie del serrín del Pigüe, las propiedades fisicoquímicas se muestra según los análisis inmediato y elemental, se trabajará con una balanza sensible para determinar la degradación de la biomasa en cada una de las temperaturas de gasificación y combustión (Babu & Chaurasia, 2004), el mismo que nos permite simular a la termo balanza gravimétrica y determinar cómo va disminuyendo su peso en base a que va aumentando la temperatura. De esta manera en los ensayos realizados la transferencia de calor y materia garantizan las condiciones del estudio de la química de la combustión (Di Blasi, 1993). Para este fin se utilizó 5 muestras con un peso promedio de 1,015 gramos, logrando obtener resultados satisfactorios en relación a una combustión completa.

- **Poder calorífico**

Para la determinación del poder calorífico de un combustible se puede realizar (Del Pozo, 1982).

- Experimentalmente
- Analíticamente, en función de la composición elemental o ciertos datos teóricos-experimentales.

La determinación experimental del poder calorífico de la biomasa se realizó en un Calorímetro Automático Isoperibólico 6400, cuenta con un subsistema de enfriamiento de circuito cerrado y la más alta automatización en colorimetría (Parr, 2016), aplicando la Norma 14918: 2009. Para la determinación analítica del poder calorífico superior se utilizó ecuaciones, basadas en los diferentes análisis que se realizó a la biomasa, establecidas por varios autores.

- **Entalpia**

La entalpia expresa la cantidad de calor que un cuerpo intercambia con el ambiente, es decir expresa si pierde o gana calor (Pérez Bayer, 2009). Para calcular la entalpia de formación de la biomasa se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_{f,bms} = PCI_{b.s.} + \frac{1}{M_{bms}} \sum_{i=prod} (v_i * \bar{h}_{f,i.}) \quad \text{Ec.10}$$

Donde:

$h_{f,bms}$ = Entalpia de formación de la biomasa sólida (J/mol)

$PCI_{b,s}$ = Poder calorífico inferior en base seca de la biomasa sólida (kJ/kg)

M_{bms} = Peso molecular de la biomasa sólida (kg/kmol)

v_i = Velocidad del agente gasificante en el punto i (m/s)

$\bar{h}_{f,i}$ = Entalpia de formación en base molar de la especie i (J/mol)

3.3.5. ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION

Una vez conocido el potencial de biomasa fresca y su procedencia, se procedió a calcular los costos de producción de la combustión; seguidamente la valoración del potencial energético en kW-h, en base a la producción real de materia seca y su poder calorífico inferior de la biomasa del Pigüe. Para determinar los costos de producción se clasifico los costos (Wyngaard, 2011).

Costos variables aquellos que varían con el volumen producido:

- Materia prima
- Mano de obra directa
- Supervisión
- Mantenimiento
- Suministros

Costos fijos aquellos que pertenecen constantes a pesar del nivel de producción o venta:

- Impuestos
- Seguros
- Financiación
- Administración
- Ventas

3.3.6. FACTIBILIDAD DEL USO DEL PIGÜE COMO FUENTE ENERGETICA

Para determinar la factibilidad del uso del Pigüe como combustible se calculará su rendimiento global y rendimiento eléctrico equivalente.

El rendimiento global expresa la relación entre la energía eléctrica producida y el calor del combustible empleado para ello (IDAE, 2018), viene dado por la fórmula:

$$R = E + \frac{V}{Q} \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

E: energía eléctrica generada medida en bornes de alternador, equivale a 1 kW-h= 860 kcal.

Q: es el consumo de energía, medida por el poder calorífico inferior del combustible.

V: producción de calor útil o energía térmica útil.

El rendimiento eléctrico equivalente permite comparar la eficiencia eléctrica de una planta (Aldamá, 2010), se calcula mediante la ecuación:

$$R = \frac{(E)}{\left[Q - \left(\frac{V}{RefH}\right)\right]} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

Ref H: valor de referencia del rendimiento para la producción de calor, de conformidad con lo dispuesto por la Directiva 2004/8/CE del Parlamento Europeo.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS ESPERADOS

4.1. COMPOSICIÓN DEL PIGÜE

4.1.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Los parámetros físicos de la madera en relación al astillado para procesos de combustión y gasificación, se prevén de acuerdo a los datos que se mencionan en la tabla 5.

Tabla 5. Granulometría de la astilla de biomasa.

Granulometría		
Diámetro	Longitud	Referencia
< 5 cm	5 cm	(Valter & Luca , 2008)
6 mm	70 mm	(Arpi. & Santiago, 2010)
5 mm	100 mm	(Nogués & Rezeau, 2010)

Fuente: Elaboración propia

Para las calderas se recomienda utilizar astillas con un diámetro menor de 5 cm y una humedad no superior al 20%, esto limita el contenido de cenizas que se produce (Valter & Luca , 2008). Un tamaño de partícula pequeño implica una cinética de gasificación y combustión más rápida y uniforme, incrementa la densidad del biocombustible, facilita la alimentación al sistema y genera menos emisiones de gases al medio ambiente (San Miguel & Gutiérrez, 2015). La densidad aparente del Pigüe dio 560 Kg/m³ en materia seca y 759 kg/m³ en materia fresca, demostrando así que es una madera liviana y sin embargo brinda una alternativa energética.

4.1.2. PARÁMETROS QUÍMICOS

Para la caracterización de la especie se realizó análisis inmediato, análisis proximal, composición química y determinación del poder calorífico del Pigüe. En la tabla 6 se exponen el resultado promedio de 12 muestras obtenidas en el analizador elemental, mufla, y en una bomba calorimétrica.

Tabla 6. Análisis elemental, proximal y calorimétrico del Pigüe.

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
<i>Análisis elemental</i>	%	<i>Análisis proximal</i>	%
Carbono	46,06 ± 2	Material volátil	73,04 ± 2
Hidrógeno	4,35 ± 2	Carbono fijo	14,35 ± 2
Nitrógeno	0,12 ± 2	Cenizas	0,56 ± 1
Oxígeno	49,47 ± 2	Humedad	12 ± 1
Total	100	Total	100
<i>Composición química</i>	%	<i>Análisis calorimétrico</i>	MJ/kg
Celulosa	42,25 ± 2	Poder calorífico	19,061 ± 2
Hemicelulosa	22,03 ± 2		
Lignina	22,95 ± 2		
Otros compuestos orgánicos	12,77 ± 2		
Total	100		

Fuente: González et. al 2018

Que contribuyen en todo el proceso de la combustión para la generación de la energía.

4.1.3. PARÁMETROS TERMOQUÍMICOS

Combustión

Se obtuvo el siguiente resultado de las pruebas de ensayo en relación en la primera fase de combustión, la degradación inicial pertenece a la hemicelulosa, seguido por la celulosa y la lignina de acuerdo a las temperaturas presentes en la tabla 7.

Tabla 7. Combustión discontinua de la biomasa.

No.	°C	Peso Ms tiempo cero	Peso final Ms Combustionada	% de Biomasa presente	% Biomasa Combustionada	Característica de la combustión
1	300	1,015	0,3178	31,30	68,70	Carbón
2	500	1,015	0,2053	20,22	79,78	Carbón
3	700	1,015	0,1072	10,56	89,44	Carbón +cenizas
4	900	1,015	0,0062	0,61	99,39	Cenizas

Fuente: Elaboración propia

La madera generalmente contiene 1% de cenizas, aunque hay especies que pueden tener porcentajes mayores, en este caso el Pigüe demuestra un promedio de 0,61%. Un elevado porcentaje de cenizas disminuye el poder calorífico del combustible (Borja Velázquez M. , 2006).

Entalpia

En la tabla 8 se detalla el valor de la entalpia de formación y reacción de 12 muestras de biomasa y el promedio de las mismas, en relación a su porcentaje en peso, volumen y poder calorífico inferior.

Tabla 8. Entalpia de formación y reacción del Pigüe.

Muestra	Hf (KJ/Kmol)	Hr (KJ)
1	450,35	-1675,54
2	445,87	-1666,58
3	447,75	-1670,34
4	457,07	-1688,97
5	446,20	-1667,23
6	449,74	-1674,31
7	445,96	-1666,75
8	450,59	-1676,02
9	450,86	-1676,55
10	439,21	-1653,26
11	440,50	-1655,83
12	443,57	-1661,97
Promedio	447,30	-1669,44

Fuente: Elaboración propia

La entalpia de reacción puede ser positiva si gana calor de los alrededores, una reacción endotérmica o negativa si pierde calor, una reacción exotérmica.

Poder calorífico

El contenido energético de un combustible puede ser medido por el poder calorífico, este representa el contenido de energía que liberada una muestra en presencia de aire (Heraz, 2012).

Para calcular el poder calorífico superior del Pigüe (*Piptocoma discolor*) se propone una ecuación, en base análisis estadístico realizado en el programa SPSS V22.0, en donde se considera el contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y cenizas

Los valores con respecto al poder calorífico del Pigüe aplicando las ecuaciones descritas en la memoria de este proyecto se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Poder calorífico superior del Pigüe.

Ecuación	Referencia	Resultado	Eficiencia
$PCS = 8100C + 34000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500S$	(Vignote, 2016)	13,30	72,35
$PCS = 0,3491C + 1,1783H + 0,1005S$ $- 0,0151N - 0,1034O$ $- 0,0211A$	(Van Loo & Koppejan, 2008)	16,37	89,04
$PCS = 0,17389[Ce] + 0,26629[L]$ $+ 0,32187[E]$	(Shafizadeh, 1976)	17,56	92,16
$PCS = 25,411 - 1,572N + 0,226C$ $- 3,946H + 1,095Cz$	Ecuación Propuesta	19,08	99,88

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como referencia el poder calorífico del Pigüe, se establece que la ecuación propuesta en base al análisis elemental de la biomasa presenta un grado de confiabilidad del 99,88%, en comparación a las demás ecuaciones. El poder calorífico superior de 12 muestras realizadas en la bomba calorimétrica arrojó un valor de 19,061 MJ/kg y aplicando la ecuación propuesta se obtuvo un valor de 19,081 MJ/kg, lo que representa un margen de error del 1%, entre los dos métodos empleados.

4.2 ANALISIS DE COSTOS DE PRODUCCION

El análisis de los costos de producción comprende el monto de los recursos económicos necesarios que implica la realización del proyecto previo a su puesta en marcha. En la tabla 10 se detalla el valor de los costos fijos para la realización del proyecto.

Tabla 10. Costos fijos del proyecto.

Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Costo Total	Inversión Interna	Inversión Externa
Tierras	h	3	6000	18000	18000	
Construcción	m ²	-	-	1343200		1343200
Equipo de oficina	u	-	-	5280	5280	
Equipo de laboratorio	u	-	-	76410		76410
Herramientas	u	-	-	1523	1523	
Maquinaria	u	-	-	302050		302050
Vehículo	u	1	100000	100000		100000
TOTAL				1846463	24803	1821660

Fuente: Elaboración propia

Los costos variables constituyen el conjunto de recursos necesarios para la operación normal del proyecto. En la tabla 11 y 12 se muestra el capital de trabajo del proyecto.

Tabla 11. Costos variables del proyecto.

Materia prima	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
Biomasa	T	36987,9	6,5	240421,5
TOTAL				240421,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Costo de mano del proyecto.

Mano de Obra	N° Trabajadores	Costo mensual x trabajador	Costo mensual total	Meses laborables	Total
Gerente	1	2000,0	2000,0	12	24000,0
Jefe de producción	1	1500,0	1500,0	12	18000,0
Secretaria	1	640,0	640,0	12	7680,0
Contador	1	800,0	800,0	12	9600,0
Personal de mantenimiento	2	900,0	1800,0	12	21600,0
Operarios	20	480,0	9600,0	12	115200,0
Guardias	2	396,0	792,0	12	9504,0
TOTAL					205584,0

Fuente: Elaboración propia

Para producir 1MW de potencia se necesita 593,79 Kg/h de biomasa forestal con 0% de humedad considerando que la caldera tenga un rendimiento del 100% (Aldamá, 2010). En la tabla 14 se muestra la producción anual considerando un rendimiento de la caldera del 50% debido a pérdidas que se producen en el proceso de combustión (ver tabla 13).

Tabla 13. Producción anual de energía.

Año	kW-h	P. Unitario	Total
1	14714437,8	0,07	1030010,6

Fuente: Elaboración propia

La utilización de capital o recursos propios para llevar a cabo la idea de negocio es un factor viable. La inversión interna de los productores es de 265224,5 dólares, el cual representa el 11%, este aporte es en materia prima y terreno para la construcción de la planta, la inversión externa, es decir, el financiamiento por parte de organismos externos equivaldrá a 2131832,7 dólares, dando una inversión total de 2397057,1 dólares. En la tabla 14 se detalla la estructura del capital para el proyecto.

Tabla 14. Estructura del capital para el proyecto.

Capital	Total	Inversión interna	Inversión externa
Fijos	1846463,0	24803,0	1821660,0
Variables	446005,5	240421,5	205584,0
Preoperativos	104588,7		104588,7
Total	2397057,1	265224,5	2131832,7

Fuente: Elaboración propia

Se ha determinado la necesidad de un préstamo bancario para la ejecución del proyecto con una tasa de interés del 12%, amortizado en un lapso de 5 años (ver tabla 15).

Tabla 15. Financiamiento del proyecto.

Años	Desembolso	Pago de Capital	C. reducido	Interés	Servicio Deuda
0	2131832,7		2131832,7	255819,9	255819,9
1		532958,2	1598874,5	191864,9	724823,1
2		532958,2	1065916,3	127910,0	660868,1
3		532958,2	532958,2	63955,0	596913,1
4		532958,2	0,0	0,0	532958,2
TOTAL	2131832,7				2771382,4

Fuente: Elaboración propia

4.3 FACTIBILIDAD DEL USO DEL PIGÜE COMO FUENTE ENERGÉTICA

Para el rendimiento energético se ha considerado las pérdidas de caldera y turbina consideradas anteriormente en relación a la energía inicial y en comparación con otros tipos de energía, se obtuvo un rendimiento global del 59,99% y un rendimiento eléctrico equivalente del 32,12% de esta biomasa, en comparación con rendimiento mínimo de otras biomásas como combustible con un valor de 30% (IDAE, 2018), demostrando así la factibilidad de esta especie como combustible en la provincia de Pastaza.

En la tabla 16, se detalla las variables que se tomaron en cuenta para decidir de manera objetiva la viabilidad del proyecto de inversión.

Tabla 16. Parámetros de factibilidad del Pigüe.

No.	Descripción	Unidades	Valor
1	Biomasa total en la Provincia	T	41097686,9
2	Materia Prima fresca	T	36987,9
3	Materia Prima Seca	T	14562,1
4	Densidad de especie en fresco	Kg/dm ³	759
5	Densidad de especie en seco	kg/dm ³	560
6	Poder calorífico superior	MJ/kg	19,07
7	Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	17,99
8	Producción de energía	kW-h	14714437,8
9	Costo variable unitario	\$	0,0084
10	Costos fijos totales	\$	984309,1
11	Precio de venta a la red	\$	0,07

Fuente: Elaboración propia

La provincia de Pastaza dispone de 41097686,9 T de biomasa (Pigüe), anualmente se aprovechara el 1% para la producción de energía eléctrica, lo que equivale a 36987,9 T de materia prima fresca, con una densidad de 759 Kg/m³ y de materia prima seca 14562,14 T, con una densidad de 560 Kg/m³, el poder calorífico superior es de 19,07 MJ/Kg, el inferior es de 17,98 MJ/Kg, que permitió obtener una producción de energía de 46,841 GW-h, con un costo variable unitario es de \$ 0,0084, en base a los costos fijos totales con un valor de \$ 984309,07, se pretende vender a la red a un precio de \$ 0,07.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La combustión es un proceso termoquímico, en el cual la materia vegetal, es convertida en vapor para generar energía eléctrica. La temperatura producida en la combustión del Pigüe brinda valores notables para la producción de vapor saturado, el mismo que servirá como fluido propulsor para mover la turbina de vapor que permita transformar energía mecánica en energía eléctrica.
- En base a los análisis realizados con las astillas de Pigüe se logró determinar las propiedades físico-químicas de humedad 12% y cenizas 0,61%, lo que a su vez permitió calcular el poder calorífico superior e inferior usando ecuación de regresión, obteniendo valores de 19,097 MJ/kg y 17,982 MJ/Kg, esto permite afirmar que la biomasa forestal es una gran alternativa para la producción de energía con un rendimiento eléctrico equivalente de 32,12%.
- Mediante el análisis económico se determinó los costos de producción para la combustión de acuerdo a los diferentes criterios de producción.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los productores realizar un buen secado de la biomasa, con el objetivo de disminuir su contenido de humedad, por ende, favorecer a la producción de energía.
- Se sugiere realizar la pelletización de la biomasa para que se consiga una mayor compactación, consiguiendo un mayor poder calorífico, reduciendo así el volumen biomásico al transportar y alimentar al sistema de combustión.
- Para incrementar la producción de energía, se requiere implementar equipos y maquinarias para cubrir la demanda energética en zonas de difícil acceso a este servicio básico.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar., P. J., & Estela, G. (2011). *Materiales y materias primas: Madera*. Buenos Aires - Argentina: Colección Encuentro Inet.
- Álvarez, A. P., & Folgueras, M. (2012). Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico. *Universidad de Oviedo*, 12.
- Amengual., R. C., & Álvaro, T. G. (2013). *Implantación central de biomasa forestal y aprovechamiento de las masas forestales*. Barcelona: Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (EPSEB).
- Arpi., T. J., & Santiago, C. (2010). *Diseño de una maquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de Cuenca para su aprovechamiento Energético*. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Arroyo, J. S., & Reina, W. S. (2016). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *INGENIUS*, 10.
- BESEL, S. (2007). *Biomasa: Gasificación*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Borja Velázquez, M. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. España: REVERTÉ.
- Bravo, M. A. (2010). Analisis Regulatorio para la factibilidad de implementación de proyectos de generación de energías renovables en el Ecuador. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana SEDE Guayaquil.
- Burschel., H. H., & Lobos, M. (2003). *LEÑA: Una fuente energética renovable para Chile*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria, S.A.
- Bustamante., V. C., & Ciro, H. J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 21.
- Cabrera, T. (5 de Noviembre de 2010). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/sergioluisgarcia/punto-de-equilibrio-y-relacion-beneficio-costo>
- Canalis, M. P. (2012). *Co-combustión de biomasa FORESTAL, en una central térmica de carbón pulverizado de bajo rango influencia del tamaño de partícula en el comportamiento de caldera*. España: Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Zaragoza. Obtenido de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjPhOqd8tfiAhXNxlkKHa2RCaQQFjADegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fzaguan.unizar.es%2Frecord%2F9940%2Ffiles%2FTESES-2013-010.pdf&usg=AOvVaw0Xt_fhq2oXEuf9xPzihNVq
- Cárdenas, L. S., & Solorio, R. (2012). Análisis de cuchillas de molino para termoplastos mod.2650 y diseño para una mayor duración. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.

- Cárdenas., M. J. (2018). *Evaluación del proceso de gasificación de piptocoma discolor (pigüe) como fuente energética mediante el programa ansys fluent académic*. Puyo: Universidad Estatal Amazónica.
- Carrasco, J. (2008). *Combustión directa de la biomasa*. España: Escuela de Negocios.
- Castells, X. E. (2012). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Madrid: Díaz de Santos S.A.
- Córdoba, R. (2005). Conceptos básicos del secado de la madera. *Forestal Kurú (Costa Rica)* 2(5),, 3.
- Correa., R. (2013-2017). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito: Consejo Nacional de Planificación.
- Cortazar, F. L. (2008). Consumo de energía y distribución de tamaño de partícula en la molienda de canela (*Cinnamomum Zeylanicum*) y pimienta negra (*Pipernigrum L.*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vo 7, No. 21-8*.
- Cueva. (2014). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN ARAJUNO*. Cantón Arajuno: Gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Arajuno.
- Da Silva., D. O., & Paula, D. A. (2014). Ecuaciones para estimar el poder calorífico de la madera de cuatro especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 10.
- Del Pozo, J. (1982). *Técnica de Conservación Energética en la Industria*. Madrid: Editorial Científico-Teécnica.
- Demirbaş, A. (2003). *Relationships Between Heating Value and Lignin, Fixed Carbon, and Volatile Material Contents of Shells from Biomass Products*. Energy Sources.
- Di Blasi, C. (1993). Modelling and simulation of combustion processes of charring and non-charring solid fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25.
- EPEC. (2010). Energía renovable: la biomasa. *Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC)*, 8.
- Erazo., G. I., & Putzel, L. (2014). El uso de pigüe (*Piptocoma discolor*) por los pequeños productores de Napo, Ecuador. *Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR)*, 26 *CIFOR*, 6.
- FOCER., F. d. (2002). *Manual sobre energía Renovable: Biomasa/Biomass* (ISBN: 9968-904-02-3 ed., Vol. I). San José de Costa Rica, Costa Rica.
- Gaona, D. A. (2014). *Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generacion eléctrica*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- García , S. (2012). *Centrales termoeléctricas de Biomasa*. Madrid: renovetec.
- Girón, E. (2012). *La tasa interna de retorno y el valor actual neto como herramienta de evaluación financiera, en proyectos para plantaciones de madera Teca*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Gómez , O. X. (2017). *Evaluación financiera y análisis de riesgos de un proyecto de inversión para la elaboración de chocolate artesanal orgánico en el Ecuador*. Quito-Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar .
- Gómez, A. K., & Wiest, W. (2004). Transformación termoquímica de la biomasa residual del proceso de extracción del aceite de palma : tecnologías y perspectivas. *cenipalma*, 10.
- González, J. E., & Borja, R. (2019). Potencial de biomasa y modelo cinético del secado del Piptocoma Discolor (Pigüe) como fuente energética renovable en el Ecuador. *Artículo en revisión*, 19.
- González, J. M., & Oliva, D. (2019). Determinación del potencial energético del Pigüe (Pictocoma Discolor) en la amazonia ecuatoriana. *Ciencia Digital*, 20.
- González., J. E., & Oliva, & D. (2019). Determinación del potencial energético del pigüe (Piptocoma Discolor) en la amazonía ecuatoriana. *Ciencia Digital*, 19.
- González., J. E., & Oliva, D. (2018). Crecimiento y conservación de Piptocoma discolor (Pigüe) en la Provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 14. Obtenido de <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/380/486>
- Gutiérrez, A. d., & Romero, J. (1998). *Variation in the composition of wood extractives from Eucalyptus globulus during seasoning*. Wood Chem. Technol.
- Heraz, A. (2012). *Estudio de gasificación mediante un prototipo experimental para el tratamiento termoquímico de residuos orgánicos*. México, D.F.: Universidad Iberoamericana.
- Hetsch, S. (2004). *La Comercialización de la Madera en la Provincia de Pastaza*. Alemania: Universidad de Freiburg, Alemania. Programa de ASA.
- Hurtado, E. A. (2013). Potencial de Uso de Piptocoma discolor (Kunth) Pruski en Sistemas Silvopastoriles. *Ingenierías & Amazonía*, 6 (1), 8.
- INAMI, I. N. (2015). *Anuario Meteorológico*. Quito.
- INEN, I. N. (2010). *Censo 2010 Población y vivienda*. Quito.
- ISOGIS. (2010). *Evaluación de la Madera, la Biomasa y el Carbono de Bosques y las Tecnologías Potenciales de Producción de Energía a Partir de Biomasa en Durango, México*. México: Instituto Tecnológico de El Salto.
- Jiménez, L., & González, F. (1991). Study of the physical and chemical properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Universidad de Córdoba*, 3.
- MAE, M. d. (2014). *Evaluación Nacional Forestal Resultados*. Ministerio de Ambiente del Ecuador. Quito: Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Obtenido de www.fao.org.ec, www.ambiente.gob.ec
- MAE., M. d. (2009). *Estudio para determinar la abundancia de Pigüe y otras especies potenciales para la industria de pallets y cajonería en la Provincia de Pastaza*. Puyo: MAE.

- Marcos., M. D., & Castellano, R. (2001). Caracterización de biocombustibles sólidos forestales. *Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF)*, 7.
- Martínez, S. (2009). *Evaluación de la biomasa como recurso energético renovable en Cataluña*. Girona: Universidad de Girona.
- Matiauda., M. D., & Rivero, M. (2012). Combustión en lecho fluidizado de pellets de aserrín. *Centro Azúcar*, 6.
- Matinez, I. (1992). *Termodinámica básica y aplicada*. España: Universidad Politécnica de Madrid.
- McKendry, P. (2002). *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*. Colchester: Elsevier Science Ltd.
- Mendoza., J. B., & Lesmes, C. (2012). Análisis Exergético de la Gasificación de Biomasa. *SciElo*, 12.
- Merino., J. C. (2010). *Estudio económico de dos formas de aprovechamiento forestal del Pigüe (pollalesta discolor) en el cantón mera, provincia de Pastaza*. Pastaza: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Monar, G. (2011). "Proyecto de factibilidad para la creación de un centro de capacitación ocupacional con certificación internacional en la empresa SEDICOM – Riobamba". Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Muñoz, F. (2007). *Central energética de Biomasa Forestal*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Murillo, O., & Badilla, Y. (2004). *Evaluación de la calidad y estimación del valor en pie de la plantación forestal*. Costa Rica: Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR.
- Neira, M. (2009). *Inventario de recursos energéticos de Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito: Conelec.
- Nogués, F. S., & Rezeau, A. (2010). *Energía de la biomasa* (Vol. 1). Zaragoza - España: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Parr, I. C. (2016). *Calorimetría de bomba de oxígeno*. Parr. Obtenido de <http://www.parrinst.com/es/products/oxygen-bomb-calorimeters/>
- Paz, F. J. (2008). *Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer clareo en árboles de melina (gmelina arborea roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pérez Bayer, J. F. (2009). *Gasificación de biomasa Estudios técnico-experimentales en lecho fijo equicorriente*. Colombia: Universidad Antioquia.
- Quezada, G. (2013). *Provincias del Ecuador - Región Amazónica el uso de las nuevas tecnologías influye en el aprendizaje*. Obtenido de <http://gilbertopaucarq.blogspot.com/2013/04/provincias-del-ecuador.html>
- Quintero, J. R., & Quintero, L. E. (2015). *Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

- Ricón, S. G., & Klose, W. (2011). *Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial*. Alemania: Universidad de Kassel.
- Rivas, S. (2014). *Valorización de hemicelulosas de biomasa vegetal*. Ourense: Universidad de Vigo.
- Romelli, G. R., & Pasquale, G. (2015). *Química de la biomasa y los biocombustibles*. Colombia: Universidad Nacional de la Plata.
- Rutiaga, Q., & JG. (2001). *Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen*. Buchverlag.
- Saldarriaga, J. F. (2015). *Avances en el modelado de la combustión de biomasa en SPOUTED BED CÓNICO*. Leioa: Universidad del País Vasco.
- San Miguel, G., & Gutiérrez, F. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Universidad Politécnica de Madrid: Mundi-Prensa.
- Sener, S. d. (2012). *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*. México: Sener, Gobierno Federal.
- Sinchi, I. A. (2009). *Secado natural, manejo y transformación de la madera* (Primera ed.). Bogotá - Colombia: Digiprint Editores E.U. Obtenido de <https://www.sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/secado%20maderas.pdf>
- Solar, D. (2013). *Metodología para la optimización del aprovechamiento energético de los recursos de Biomasa. Aplicación a la comundia Valenciana*. Universidad Politécnica de Valencia Instituto de Ingeniería Energética.
- Toscano, L. A. (2009). "Análisis de los parámetros y Selección de hornos para la combustión de biomasa". Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Vallejo, J. (1982). "Estudio de factibilidad económica" *Especie forestal Pigüe, Hacienda Ilandia*. Puyo.
- Valter, E., & Luca, B. (2008). *Manual de combustibles de madera*. Valladolid-España: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa (AVEBIOM).
- Van Loo, S., & Koppejan, J. (2008). *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. London: Earthscan.
- Velázquez, B. F., & Ruiz, L. (2010). Dendrometric and dasometric analysis of the bushy biomass in Mediterranean forests. *Forest Ecology and Management* ISSN 0378-1127, 259, issue.
- Vignote, S. (2016). *Procesos termoquímicos de la madera y en general de la biomasa*. Madrid-España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Weston, J., & Brigham, E. (1997). *Fundamentos de Administración Financiera*. México: Mc Graw Hill.
- Yánquez, G. G. (2012). *Diseño de una planta de peletización en Castilla y León*. Madrid: Universidad Carlos III.