

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO
MECÁNICO**

TEMA:

**APROVECHAMIENTO DEL RECURSO BIOMASA A PARTIR DE LOS
DESECHOS DE MADERA PARA UNA CALDERA DE VAPOR**

AUTOR:

JUAN SEBASTIÁN ARROYO VINUEZA

TUTOR:

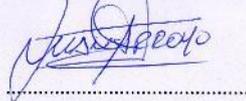
WASHINGTON SALVATORE REINA GUZMAN

Quito, enero del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo, Juan Sebastián Arroyo Vinueza con documento de identificación N° 1716892227, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: "Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



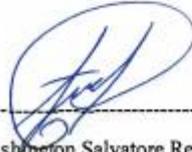
Juan Sebastián Arroyo Vinueza
1716892227

Quito, enero del 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Investigación "Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor", realizado por Juan Sebastián Arroyo Vinuesa, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2016



Washington Salvatore Reina Guzmán

171276690-4

Dedicatoria

Al ser humano que con su infinita bondad y humildad es y será siempre mi fuente de inspiración; con aprecio y cariño a mi madre Susana Vinueza.

A mi hermana Emma Luisa, por su apoyo incondicional

En memoria de mis abuelos; María Irene Carrera, César Augusto Vinueza y Reinaldo Arroyo.

Agradecimiento

A la Universidad Politécnica Salesiana, y la poderosa Facultad de Ingeniería Mecánica

Al Ing. Salvatore Reina por sus consejos y guías en este proyecto.

A todas las personas que de una u otra manera fueron parte importante en realizar este proyecto.

Índice

Introducción	1
1 Desarrollo de la Investigación:	2
2.1. Biomasa	2
2.2. Clasificación de la biomasa	3
2.3. Usos y procesos de la madera.....	3
2.4. Tipos de madera trabajada.....	4
2.5. Destino de los desechos madereros, biomasa.....	4
2.6. Legislación	4
2.7. Almacenamiento y transporte.....	5
2.8. Toma de muestras.....	6
2.9. Biomasa proveniente de la madera.....	7
2.10. Humedad.....	8
2.11. Densidad aparente de la biomasa.....	8
2.12. Composición de la madera.....	9
2.13. Contenido de cenizas	9
2.14. Poder calorífico.....	9
2.15. Balance de energía	11
2.15.1. Balance energético caldera.....	13
2.16. Balance exergético	14
2.17. Entropía.....	16
2 Resultados y Discusión.....	17
3.1. Fuentes de biomasa	17
3.2. Contenido de humedad	17
3.3. Densidad aparente	19
3.4. Tamaños de partículas de la biomasa residual	19
3.4.1. Tamaño de partículas	21
3.5. Composición básica química de la madera y niveles de contaminación.....	21
3.6. Contenido de cenizas	23
3.7. Poder calorífico superior (Bruto).....	23
3.7.1. Calorímetro adiabático.....	23
3.8. Comparación de valores PCS obtenidos en Laboratorio EPN y DPEC	26
3.9. Poder calorífico inferior (Neto).....	27
3.10. Datos técnicos de la caldera.....	28

3.11.	Flujo de biomasa equivalente	28
3.12.	Cálculo balance energético	30
3.14.	Cálculo balance de exergía	30
3.13.	Cálculo de entropía	31
Conclusiones		34
Referencias		36

Índice de tablas

Tabla 1 Producción forestal de la industria primaria en Ecuador (2003).	17
Tabla 2 Densidad aparente por muestra.	19
Tabla 3 Tamaño de partículas.	21
Tabla 4 Composición de combustibles fósiles para generadores de vapor.....	21
Tabla 5 Composición básica de la madera.	22
Tabla 6 Contenido de cenizas	23
Tabla 7 Resultados poder calorífico bruto, Laboratorio E.P.N.....	25
Tabla 8 Resultados poder calorífico bruto, DPEC (Anexo 6).....	25
Tabla 9 Poder calorífico inferior (neto).	27
Tabla 10 Datos técnicos de la caldera de vapor	28
Tabla 11 Equivalencia de biomasa por muestra.....	30
Tabla 12 Balance energético obtenido por cada muestra.....	30

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo primera fase.	2
Figura 2 Clasificación de la biomasa.	3
Figura 3 Recipiente vertical tipo tanque de 9m ³ para la recolección de aserrín.....	5
Figura 4 Diagrama de flujo segunda fase.....	6
Figura 5 a) Biomasa de madera; b) Toma de muestras.....	7
Figura 6 a) Cepilladora b) Canteadora c) Disco de corte.....	7
Figura 7 Diagrama de flujo tercera fase.	11
Figura 8 Diagrama de sankey de un caldero, balance de energía.	13
Figura 9 Volumen de control para la caldera.	15
Figura 10 Contenido de humedad por muestra.	18
Figura 11 Relación poder calorífico –humedad.	18
Figura 12 Cortes de madera con disco de sierra.	20
Figura 13 Residuos de madera obtenidos en aserraderos.....	20
Figura 14 Ciclo de biomasa proveniente de madera.	22
Figura 15 Calorímetro adiabático, fabricación americana marca Parr modelo 1241.	24
Figura 16 a) Resultados de laboratorios EPN y DPEC y b) Desviación estándar.	26
Figura 17 Diferencia poderes calorífico superior e inferior.....	27
Figura 18 Diagrama temperatura-entropía.	32

Índice de Anexos

Anexo 1 Oficio de respuesta emitido por la Dirección Nacional Forestal. Volumen movilizado por especies forestales utilizadas en las industrias madereras.	38
Anexo 2 Oficio de respuesta emitido por la Dirección Provincial de ambiente. Legislación ambiental nacional vigente	42
Anexo 3 Guías y detalle de productos que ingresan a Aserraderos. Hoja de control por especie de madera	43
Anexo 4 Informe de resultados de densidad aparente en (g/ml) emitido por DPEC Universidad Central del Ecuador.	46
Anexo 5 Informe de resultados de porcentaje de cenizas emitido por DPEC Universidad Central del Ecuador.	50
Anexo 6 Informe de resultados de poder calorífico bruto en (MJ/Kg) emitido por DPEC Universidad Central del Ecuador.	54
Anexo 7 Certificado emitido por el Jefe de Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional. Ensayo poder calorífico bruto.	58
Anexo 8 Certificado emitido por el Jefe de Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional. Ensayo de humedad.	59
Anexo 9 Fotografías de ensayos.	60

Resumen

Desde el auge del petróleo y la consecuente quema de combustibles fósiles, las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero han aumentado. Teniendo en cuenta este punto de vista, la producción de energía renovable es necesario; por ejemplo, podemos aprovechar el potencial de la energía térmica de la biomasa residual utilizando equipos tales como una caldera de vapor, dispositivos de gran demanda en muchos procesos dentro de la industria.

El uso de la biomasa residual, en este caso, los de residuos de madera, son de vital importancia en el medio ambiente; ya que, se trata de una contaminación neutral frente a la contaminación por hidrocarburos. Por lo tanto, la operación de una caldera de vapor con biomasa tiene como objetivo ofrecer las mismas características que un equipo convencional.

El lector sabrá sobre: el origen de la biomasa a partir de residuos de madera, las fuentes más comerciales de la biomasa de madera, el uso final de estos desechos, y los niveles de contaminación que produce la biomasa comparables a los derivados del petróleo utilizados en la caldera. A través de pruebas experimentales de laboratorio se demuestran las propiedades físicas y energéticas que posee este recurso, con el que vamos a trabajar en los cálculos pertinentes para ser generado en la caldera de vapor.

Abstract

Since the oil boom and the consequent burning of fossil fuels, gas emissions that result in the greenhouse effect have increased. Given this viewpoint, the production of renewable energy is necessary; for example, we can take advantage of the potential thermal energy of residual biomass using equipment such as a steam boiler, such devices are in high demand in many processes within the industry.

The use of residual biomass, in this case, from wood waste, are of vital importance in the environment; because, it is a neutral pollutant in the face of pollution from hydrocarbons. Thus, the operation of a steam boiler with biomass aims to deliver the same characteristics as conventional equipment.

The reader will know about: the origin of biomass from wood waste, more commercial sources of wood biomass, the final use of these wastes, and the levels of pollution which biomass produces compared to the petroleum derivatives used in the boiler. The physical and energetic properties which this resource possesses are demonstrated through laboratory tests, with which we will work on the pertinent calculations to be generated in the steam boiler.

Introducción

Hoy en día la demanda de consumo de energía eléctrica se ha convertido un tema crítico, el crecimiento de la población, la demanda en producción de las industrias el cambio climático acelerado; son algunas variables por las cuales el país ha puesto en marcha la construcción de centrales hidroeléctricas para mitigar de algún modo la demanda de energía. Sin embargo, citando un ejemplo; cuando las centrales hidroeléctricas entran en períodos de estiaje o sequía, las centrales termoeléctricas que funcionan a base de combustibles fósiles generan grandes cantidades de gases de efecto invernadero debido a la quema de combustibles, para poner en marcha calderas de vapor y motores; dispositivos importantes dentro de su funcionamiento. Del mismo modo se suma el uso de calderas de vapor en otros procesos industriales, que en su gran mayoría utilizan combustibles derivados de petróleo; incrementando los niveles de polución.

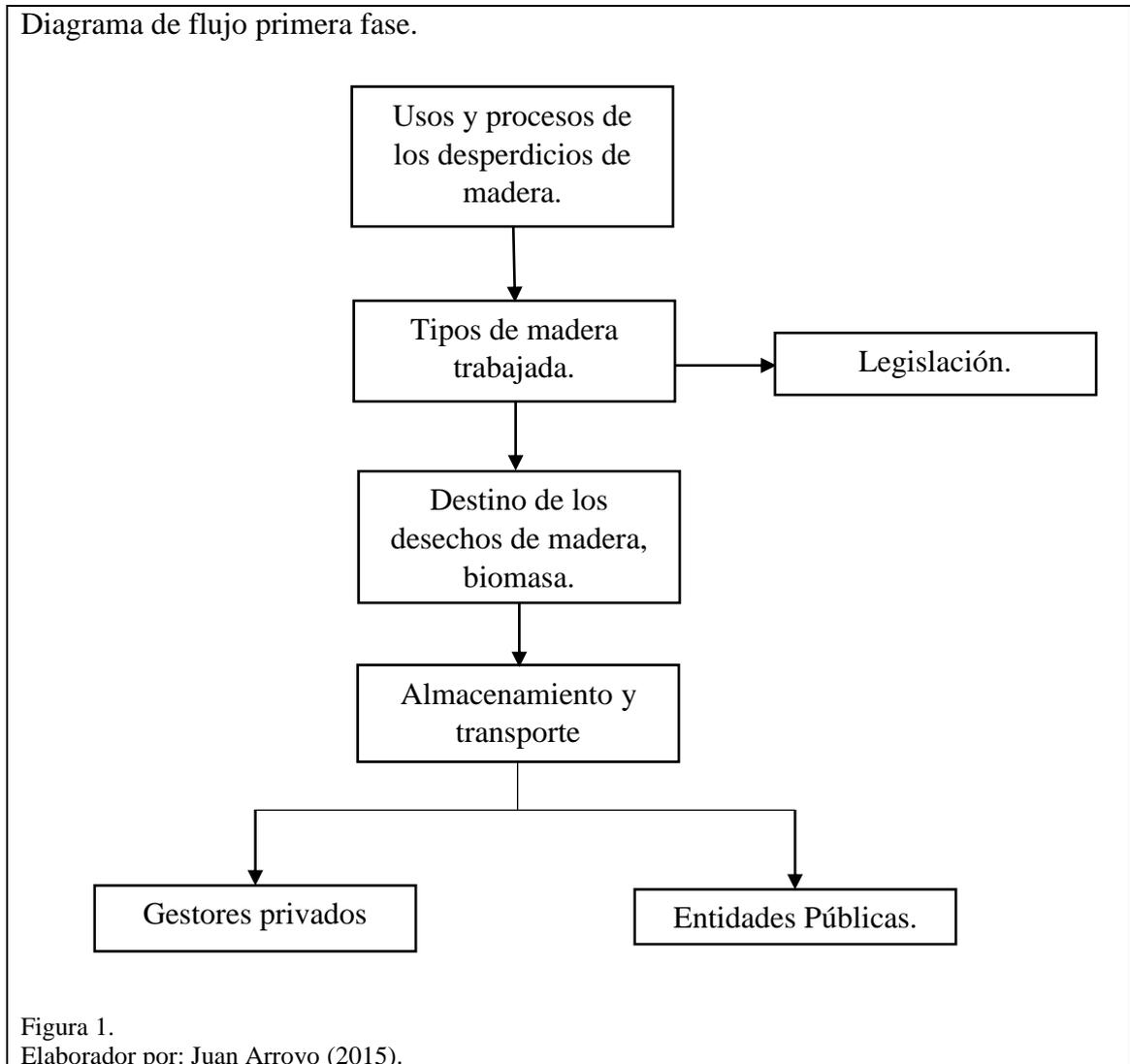
El Ecuador, en la actualidad, ha apostado por la generación y producción de energías renovables limpias. Existen varios proyectos de investigación que proponen el uso de biocombustibles; centrales eólicas, solares, biomasa, entre otros que son factibles gracias a los recursos renovables que posee el país.

La biomasa, representa una alternativa viable para el uso energético, tal es el caso de la Corporación para la Investigación Energética (CIE) y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), entidades que llevan a cabo investigaciones sobre este recurso. “El Aprovechamiento Energético de Biomasa Residual del Piñón” (INER, 2013), pretende utilizar este tipo de biomasa en la producción de biodiesel, para de esta manera suprimir paulatinamente el uso de derivado de petróleo en la región insular del Ecuador. En la misma línea de investigación la CIE ha realizado un inventario en la provincia de Pichincha de la biomasa proveniente de fuente agrícolas y animales (CIE, 2013) demostrando el potencial energético que posee este recurso.

Es así que este proyecto de investigación pretende entregar datos e información de la importancia de este recurso renovable, específicamente a partir de los desechos de madera, como una alternativa limpia hacia el medio ambiente; conociendo sus propiedades energéticas con las cuales se utilizará en una caldera de vapor.

1 Desarrollo de la Investigación:

Primera fase:



2.1. Biomasa

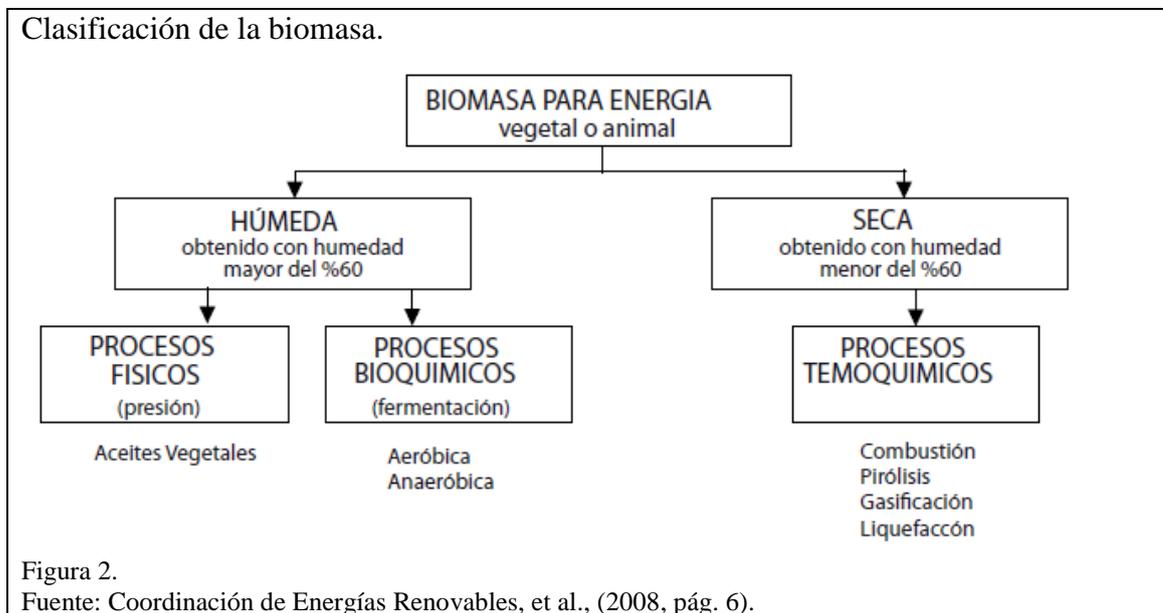
El recurso biomasa ha sido uno de los primeros combustibles usados por el ser humano, siendo el principal hasta la revolución industrial. Su uso servía para distintas actividades; por ejemplo: cocinar, para calentar el hogar, hacer cerámica y, años más tarde, para producir metales y alimentar máquinas de vapor. (Coordinación de Energías Renovables, et al., 2008, Pág. 05).

Al mismo tiempo al ser un recurso residual vegetal, la biomasa, se debe partir desde el concepto de la fotosíntesis donde Urría (2009) define como el proceso

físico-químico de las plantas, algas y otras bacterias que usan la energía de la luz proveniente del sol para sintetizar compuestos orgánicos. Es así que la biomasa se puede determinar como la materia orgánica vegetal o animal renovable procedente de forma directa o indirecta del proceso de fotosíntesis. Gracias a este proceso que es aprovechado por las plantas se obtiene energía.

2.2. Clasificación de la biomasa

En el siguiente cuadro se detalla las características de cada tipo de biomasa y sus procesos de transformación.



2.3. Usos y procesos de la madera

En la provincia de Pichincha existen empresas las cuales fabrican productos a base de biomasa residual. Siendo los más solicitados: tableros m.d.f, triplex y aglomerados.

La elaboración de estos productos, que son los de mayor demanda, es a base de residuos madera previamente tratada y combinada con aditivos. El tratamiento que recibe la madera una vez cortada y convertida en astillas, aserrín o virutas, dependiendo de la finalidad; debe ser secado y en algunos casos lavada para eliminar hongos o impurezas, asegurando la calidad de la materia prima y el producto final.

2.4. Tipos de madera trabajada

La Dirección Nacional Forestal (D.N.F.) mediante oficio MAE-DNF-2015-0238, proporcionó información de los centros de destino final que procesan madera, los cuales son registrados como industrias, de igual forma el volumen (m³) movilizado por especie que son usados por dichas industrias. (Anexo 1).

Una de las principales especies que son utilizadas en las industrias, de acuerdo al catastro facilitado por la D.N.F. son: eucalipto (*Eucalyptus globulus*), pino (*Pinus radiata*) y laurel (*Cordia alliodora*).

2.5. Destino de los desechos madereros, biomasa

El aserrín en diferentes tamaños, que van desde 1mm, virutas y astillas de dimensiones variadas, por lo general tiene varios usos entre ellos:

- Ganado, porcino, caballar y avicultoras. Son usados en el crecimiento de estas especies.
- Abonos orgánicos, usado para retener la humedad.
- Industrias madereras para aglomerados.
- Derrames de aceite.

La Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS-EP, apila en sus escombreras todo tipo de desechos sólidos principalmente de construcciones civiles y también desechos de madera los cuales son mezclados con el resto de escombros.

2.6. Legislación

El Ministerio de Ambiente, con documento No.MAE-DPAPCH-2015-1227(Anexo 2), facilitó información referente a la legislación ambiental “para el manejo de residuos sólidos contempla en el Anexo 6 de libro de TULA relacionado con la Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos no peligrosos, los cuales cada dependencia Municipal posee su resolución”.

Dentro de la Provincia de Pichincha, organismos como el Municipio de Quito y el Municipio de Rumiñahui; otorgan licencias y permisos ambientales para la ejecución de esta tarea a gestores privados.

2.7. Almacenamiento y transporte

La mayoría de aserraderos apilan a la intemperie la biomasa, es decir, no hay un adecuado manejo ni control, sin embargo, empresas como Aserradero San Alfonso ubicada en la Parroquia de Tumbaco; posee un sistema centralizado mediante tubos de aspiración.

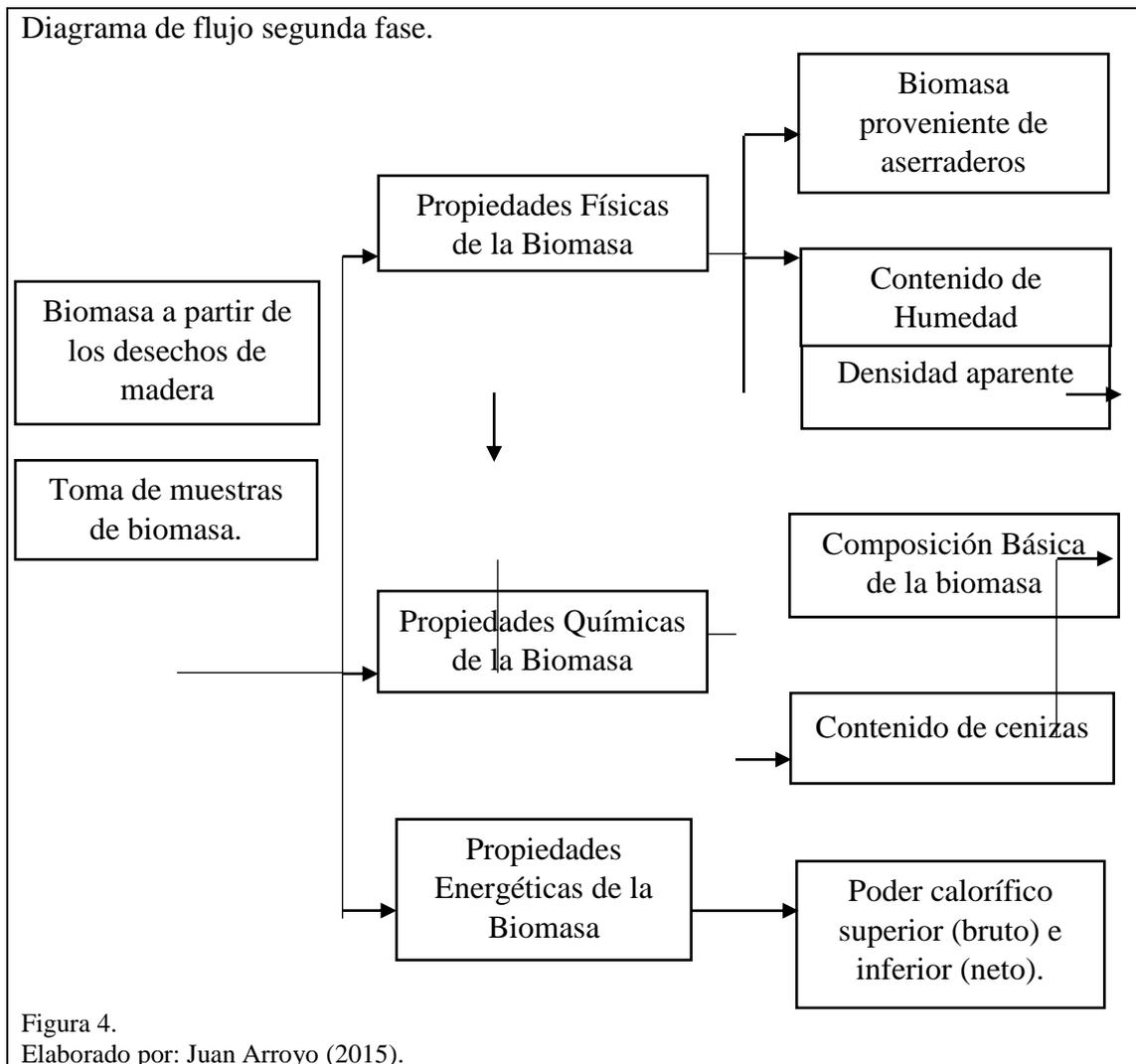
Recipiente vertical tipo tanque de 9m³ para la recolección centralizada de aserrín mediante aspiración.



Figura 3.
Fuente: Aserradero San Alfonso, (2015).

Otros aserraderos realizan la recolección de manera manual-artesanal, es decir apilan los residuos con una herramienta para luego ser entregados a gestores ambientales o intermediarios.

Segunda fase:



2.8. Toma de muestras

Las muestras se tomaron en campo, en el Aserradero San Alfonso de la Parroquia de Tumbaco. Se recogió 300 g de desechos de madera; siendo las más comerciales: pino, laurel y eucalipto. Adicionalmente se agregó una especie más de gran demanda como es el colorado, especie que también es usada en aserraderos, sin embargo, su cultivo se lleva a cabo en la zona oriental del país.

Muestra 1: Pino (*Pinus radiata*)

Muestra 2: Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Muestra 3: Colorado (*Guarea Kunthiana*)

Muestra 4: Laurel (*Cordia alliodora*)

a) Biomasa de madera; b) Toma de muestras.



Figura 5.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Cada aserradero lleva un control de las maderas que compra a los comerciantes por medio de una guía, donde se detalla la especie, dimensiones y el nombre de quién lo está distribuyendo; este documento es mandatorio por el Ministerio del Ambiente para los aserraderos. (Anexo 3).

2.9. Biomasa proveniente de la madera

La biomasa al ser un residuo, en este caso de la madera, posee distintos tamaños y formas. Puntualmente en el caso de los aserraderos, donde sus principales herramientas de trabajo son: cepilladora, canteadora y discos de corte para madera, las cuales se usan para el moldeamiento de la misma; como material resultante se tiene virutas, astillas y aserrín en distintas dimensiones.

a) Cepilladora b) Canteadora c) Disco de corte.



Figura 6.
Fuente: Aserradero San Alfonso (2015).

2.10. Humedad

La humedad representa una variable muy importante en la biomasa, representa el contenido de agua que posee una muestra en función de su peso. El poder calorífico que contiene este recurso es dependiente del porcentaje de humedad, en términos energéticos. Para ser determinada, se toma en cuenta en base seca o en base húmeda, así x la humedad en base húmeda y u la humedad en base seca; las fórmulas para su cálculo son:

$$CH_u(\%) = \frac{Ph-Po}{Po} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

$$CH_x(\%) = \frac{Ph-Po}{Ph} \quad \text{[Ecuación 2]}$$

Donde:

$CH(\%)$ = Contenido de humedad, x base húmeda y u en base seca.

Ph = Peso húmedo de la muestra. (g)

Po = Peso de la muestra después del secado en la estufa (g).

Como $Po < Pu$, se deduce; $x < u$

Por lo tanto:

$$x = \frac{u}{(1+u)} = u = \frac{x}{(1-x)} \quad \text{[Ecuación 3]}$$

2.11. Densidad aparente de la biomasa

La calidad de la biomasa proveniente de la madera y su aprovechamiento se puede evidenciar en su densidad aparente, al mismo tiempo es un indicador de la resistencia mecánica. Esta propiedad se define como la cantidad de material en peso que posee una muestra por unidad de volumen sin excluir sus espacios intraparticulares, es decir que depende de su estructura anatómica; en este caso de cada tipo de madera.

$$\rho = \frac{P}{v} \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Donde: ρ = densidad aparente $\left[\frac{g}{ml}\right]$; P = peso de la muestra seca y v = volumen de la muestra.

2.12. Composición de la madera

La madera en sus diferentes especies posee una composición idéntica, al igual que en sus distintas partes como son tronco y ramas de un mismo árbol. Kollman (1951) menciona que se puede admitir sin error que todas las maderas contienen aproximadamente un 50% de carbono y un 6.1% de hidrógeno. El resto de composición corresponde a un 43% y más de oxígeno y una porción pequeña compuesta por nitrógeno y minerales.

2.13. Contenido de cenizas

El contenido de cenizas resultante de la combustión de madera, es relativamente bajo, principalmente depende del tipo de especie. La presencia de cenizas se debe a un bajo rendimiento de la caldera, es decir mientras haya la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de todos sus elementos, la combustión será completa y al mismo tiempo el porcentaje de cenizas se reducirá.

Dentro de la caldera, dispositivo a estudiar posteriormente, las cenizas producidas por este proceso termoquímico se alojan en las paredes de hogar y otras se mezclan en los gases de escape.

2.14. Poder calorífico

El poder calorífico se define como la cantidad de energía liberada en forma de calor en un kilogramo, o en un metro cúbico de combustible cuando se quema por completo en un ambiente a presión constante de 101 Kpa y 25°C, a condiciones normales. En otros términos, el poder calorífico es el valor absoluto de la entalpía.

$$\text{Poder calorífico} = |h_e| \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] (\text{combustible})$$

1. Poder calorífico Superior PCS o HHV por sus siglas en inglés, es aquel desprendido al final de la combustión, cuando el agua del producto se encuentra en forma líquida.
2. Poder calorífico Inferior PCI o LHV por sus siglas en inglés, cuando el H₂O en los productos está en forma de vapor.

Es de gran importancia acotar que en todos los procesos técnicos industriales según Kollman (1951) es de interés solo el poder calorífico inferior PCI, esto debido a que el calor de la condensación del vapor de agua que contienen los gases resultantes de la combustión no resulta utilizable.

El mismo autor sugiere que; para determinar el poder calorífico inferior en base seca o húmeda se parte de la ecuación de vaporización del agua:

$$CV = 600(x + 9h') \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right] \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Donde:

$$600 = \text{Calor de vaporización a } 0^{\circ}\text{C} \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right]$$

x = Humedad del combustible (referidas al peso húmedo en %).

9 = Kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno.

h' = Proporción de hidrógeno (referidas al peso húmedo en %).

En combustibles sólidos como la biomasa de madera a partir de su composición se puede determinar el poder calorífico a partir del otro:

$$PCI = PCS' - 600(x + 9h') \quad \text{[Ecuación 6]}$$

PCI: Poder calorífico inferior.

PCS': Poder calorífico superior de la sustancia seca contenida en 1kg de combustible húmedo, siendo así:

$$PCS' = PCS(1 - x) = \frac{PCS}{1+u} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

u = Humedad referida al peso seco

Se obtiene:

$$x = \frac{u}{1+u} \quad \text{[Ecuación 8]}$$

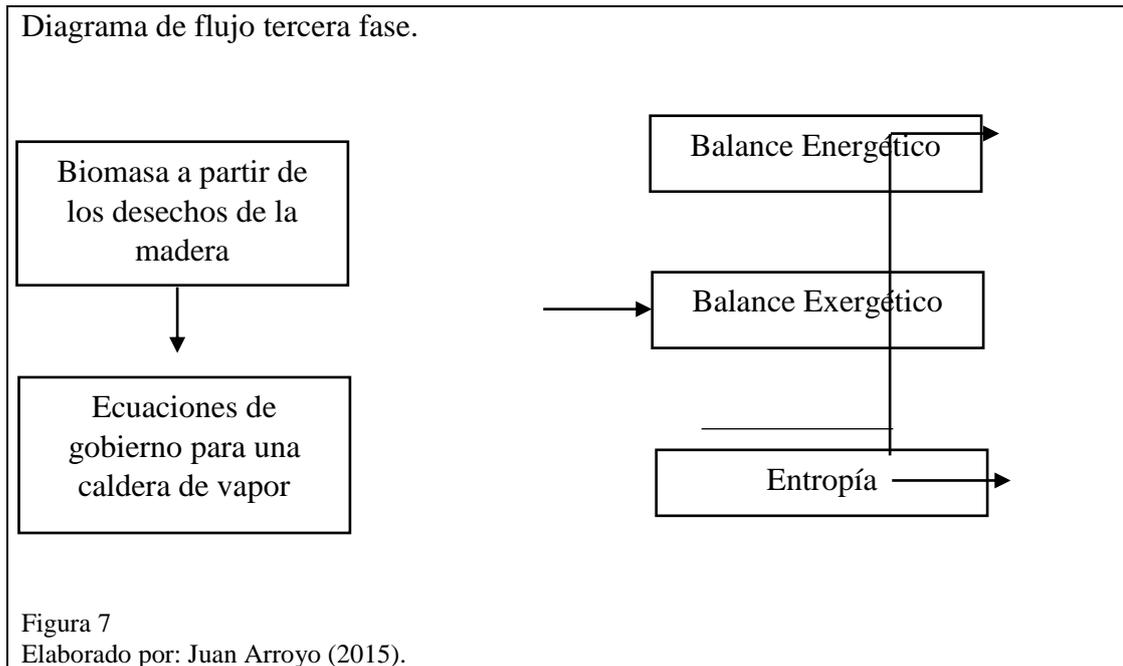
$$h' = \frac{h}{1+u} \quad \text{[Ecuación 9]}$$

Se reemplaza en la ecuación 6, obteniendo:

$$PCI = \frac{PCS - 600(u + 9h)}{1+u} \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Esta ecuación permite obtener el grado calorífico neto de una sustancia sólida conociendo su humedad en base seca y su poder calorífico superior o bruto que se obtiene en laboratorio mediante un calorímetro.

Tercera fase:



2.15. Balance de energía

El balance energético de un sistema hace referencia a la primera ley de la termodinámica donde determina que la energía se transforma, no se puede destruir ni crear durante un proceso.

$$(\text{Energía de entrada}) - (\text{Energía de salida}) - (\text{Energía del sistema})$$

$$Q = \Delta E + W$$

Q = Calor generado

ΔE = Energía sistema

W = Trabajo generado

Las propiedades intensivas y extensivas que ocurren dentro de un volumen de control, hablando específicamente de energía (E) no cambian. Es por eso que el cambio de energía dentro de un sistema es cero; de no ser el caso que cambie de estado.

$$Q = \Delta E + W$$

(Referido a un proceso desde un estado inicial 1 a un estado final 2)

Sin embargo, las energías dentro de un sistema se pueden manifestarse de distintas maneras: energía interna, potencial, cinética, química, la energía asociada con el movimiento y posición de las moléculas, etc., por lo cual el **total** de la energía presente es la suma de todas las energías que ocurren dentro de un proceso.

$$\Delta E = \Delta EC + \Delta EP + \Delta U$$

ΔE = Energía total del sistema.

ΔEC = Energía Cinética

ΔEP = Energía Potencial.

ΔU = Energía interna.

Para obtener el balance térmico energético de una caldera, hay que considerar dos aspectos: la energía proveniente del combustible y las pérdidas generadas durante la oxidación del mismo.

Los generadores de vapor, se consideran sistemas estacionarios puesto que su energía potencial y cinética son despreciables, por consiguiente, la energía total de un sistema es igual al cambio de su energía interna.

$$\therefore Q - W = \Delta U \quad \text{[Ecuación 11]}$$

En calderos, dispositivos a volumen constante, no generan trabajo:

$$Q = \Delta U \quad \text{[Ecuación 12]}$$

La energía interna es por definición matemática en sistemas abiertos:

$$\Delta u = m \times C_p \times \Delta^\circ T$$

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta^\circ T \quad \text{[Ecuación 13]}$$

En función del tiempo:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \Delta h \quad \text{[Ecuación 14]}$$

Donde:

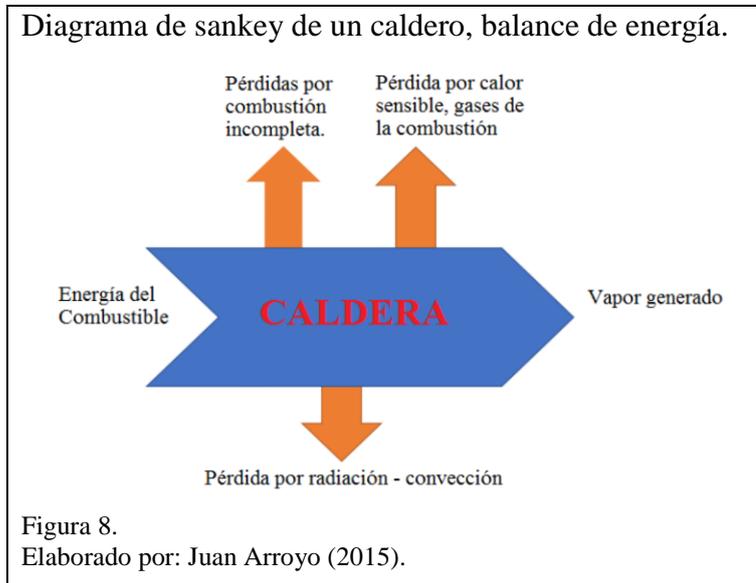
\dot{Q} = Calor de entrada del combustible.

\dot{m} = Flujo de combustible.

Δh = Variación de entalpía → Poder calorífico inferior del combustible PCI.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times \text{PCI} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

Es de vital importancia manifestar que los distintos tipos de energía que se desarrollen en un sistema, deben ser analizados por separado.



2.15.1. Balance energético caldera

$$\dot{Q} \text{ entrada} = \dot{Q} \text{ salida}$$

$$\dot{Q} \text{ salida} = \dot{Q} \text{ entrada} - \sum \dot{Q} \text{ pérdidas} \quad \text{[Ecuación 16]}$$

$$\dot{Q} \text{ entrada} = \text{Cantidad de calor entrante de combustible.}$$

$$\dot{Q} \text{ salida} = \text{Cantidad de calor de salida.}$$

$$\sum \dot{Q} \text{ pérdidas} = \text{Sumatoria, cantidad de calor total perdido.}$$

De acuerdo con Echeverría & López (2010) y Aguinaga (2010), el porcentaje de pérdidas por el calor sensible de los gases que se suscita en el conjunto horno-caldera: radiación-convección, por purgas existentes, combustión incompleta; considerando el 23% de pérdidas del total de energía entrante de combustible.

$$\sum \dot{Q} \text{ pérdidas} = 0,23 \times \dot{Q} \text{ entrada}$$

[Ecuación 17]

2.16. Balance exergetico

La primera ley de la termodinámica menciona que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, por lo tanto, la exergía es la propiedad que determina el potencial de aprovechamiento de dicha energía para producir un trabajo; es decir el primer principio trata de la cantidad de energía mientras la exergía trata la calidad de esta energía. El rendimiento exergetico en todos los procesos es el más importante que se debe analizar.

Para dispositivos como calderas, los cuales no generan trabajo, el cálculo de la eficiencia exergetica o eficiencia de la segunda ley hace referencia a conseguir el objetivo del proceso en relación con los insumos para el proceso en términos de cambio de exergía o transferencias (Van Wylen, 2003).

El balance de exergía parte de la siguiente ecuación para un volumen de control:

$$\psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(S_2 - S_1) + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \quad \text{[Ecuación 18]}$$

La energía cinética y potencial son despreciables para la caldera:

$$\psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(S_2 - S_1) \quad \text{[Ecuación 19]}$$

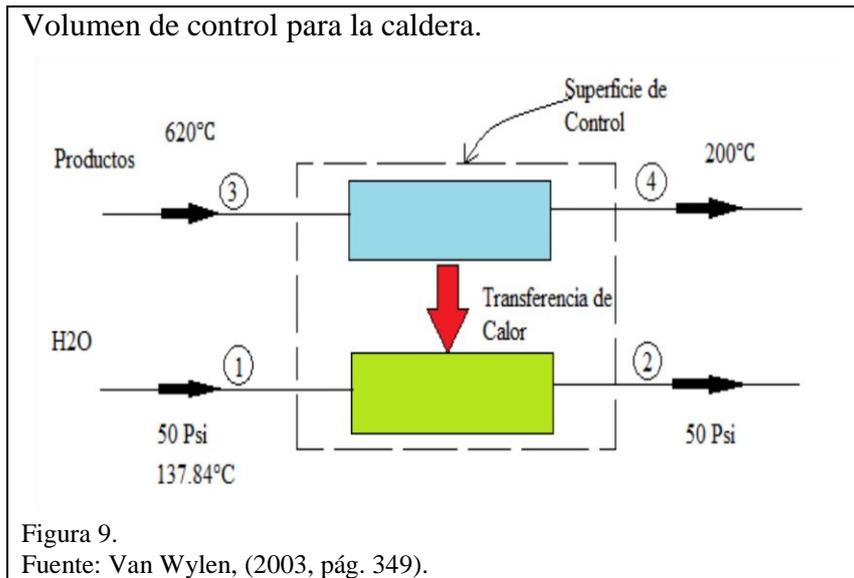
Donde:

$\psi_2 - \psi_1$ = Disponibilidad de flujo o exergía

$(h_2 - h_1)$ =Diferencia de entalpías.

$(S_2 - S_1)$ =Diferencia de entropía.

T_0 =Temperatura ambiente 20°C



Para el volumen de control las ecuaciones que rigen:

Ecuación de la continuidad:

$$(\dot{m}_1)_{H_2O} = (\dot{m}_2)_{H_2O} \quad \text{[Ecuación 20]}$$

$$(\dot{m}_3)_{\text{Productos}} = (\dot{m}_4)_{\text{Productos}} \quad \text{[Ecuación 21]}$$

De la Primera ley, se obtiene:

$$(\dot{m}_1 h_1)_{H_2O} + (\dot{m}_3 h_3)_{\text{Productos}} = (\dot{m}_2 h_2)_{H_2O} + (\dot{m}_4 h_4)_{\text{Productos}} \quad \text{[Ecuación 22]}$$

Para la relación de flujo de los productos y el flujo másico de agua, se toma en cuenta las ecuaciones 20, 21 y 22.

$$\dot{m}_{\text{Productos}} (h_3 - h_4)_{\text{Productos}} = \dot{m}_{H_2O} (h_2 - h_1)_{H_2O}$$

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{H_2O}} = \frac{(h_2 - h_1)_{H_2O}}{(h_3 - h_4)_{\text{Productos}}} \quad \text{[Ecuación 23]}$$

El cambio de entropía para los productos (gas ideal) a presión constante es:

$$(s_4 - s_3)_{\text{Productos}} = C_p \times \ln \frac{T_e}{T_i} \quad \text{[Ecuación 24]}$$

La disminución de exergía de los productos se obtiene de la ecuación 19 y 23:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}(\psi_3 - \psi_4) = \frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}[(h_3 - h_4) - T_0(s_4 - s_3)] \quad \text{[Ecuación 25]}$$

La ecuación 24 se reemplaza en 25:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}(\psi_3 - \psi_4) = \frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}\left[(h_3 - h_4) - T_0\left(C_p \times \ln \frac{T_3}{T_4}\right)\right] \quad \text{[Ecuación 26]}$$

La eficiencia exergética o de la segunda ley en base al balance:

$$\eta_{\text{exergético}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}(\psi_2 - \psi_1)}{\dot{m}_{\text{Productos}}(\psi_3 - \psi_4)} \quad \text{[Ecuación 27]}$$

2.17. Entropía

La entropía es una propiedad que no se conserva, por lo tanto, no existe el principio de la conservación de energía. Esta energía se conserva solamente durante un proceso reversible, realizado y se incrementa durante todos los procesos reales

La entropía generada o creada se presenta por la presencia de las irreversibilidades del sistema. La entropía generada durante un proceso se llama generación de entropía y su valor depende del proceso, por lo que no es una propiedad del sistema.

$$\Delta_S \text{ del Sistema} = s_2 - s_1 \quad \text{[Ecuación 28]}$$

$$\Delta_S \text{ Productos} = s_4 - s_3 \quad \text{[Ecuación 29]}$$

$$\Delta_S \text{ Total} = \Delta_S \text{ Productos} + \Delta_S \text{ del Sistema} \quad \text{[Ecuación 30]}$$

Para el cálculo de la variación de entropía de los productos en la caldera, como referencia las ecuaciones 23 y 24, obteniendo el cambio de entropía para un gas ideal:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}(s_4 - s_3) = \frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} - C_p \times \ln \frac{T_e}{T_i} \quad \text{[Ecuación 31]}$$

2 Resultados y Discusión

3.1. Fuentes de biomasa

Los productos a base de madera pueden ser estimados en la siguiente tabla, recopilación de Ecuador Forestal en su informe de *Planificación Estratégica Transformación y Comercialización de madera en el Ecuador*.

Tabla 1
Producción forestal de la industria primaria en Ecuador (2003).

Tipo de Producto	Unidad	Producción
Aserrado	m ³	750000
Contrachapado (tableros)	m ³	120000
Tableros reconstruidos Aglomerados	m ³	94000
MDF	m ³	66000
Astillas	Ton	100000

Nota: Fuente: Ecuador Forestal, (2007, pág. 28).

Es importante mencionar que en el primer paso de corte o destrozado de la madera se elabora en los aserraderos, los cuales, a través de discos de corte mecánicos, se obtiene maderos más pequeños. En el proceso de transformación de la madera por los aserraderos existe un desperdicio considerable de la madera en forma de partículas sólidas (aserrín, virutas y astillas) siendo así la biomasa, entendida aquí como los desechos de madera, un potencial importante para ser usada en la generación de energía térmica

3.2. Contenido de humedad

La prueba de humedad se realizó en el Laboratorio de Termodinámica de la Carrera de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional.

En términos de aprovechamiento energético el porcentaje de humedad en biocombustibles sólidos se realiza en base seca. La norma INEN 1 164 usada para obtener el grado de humedad, consiste en medir el porcentaje de humedad por diferencia de pesos.

Contenido de humedad por muestra.

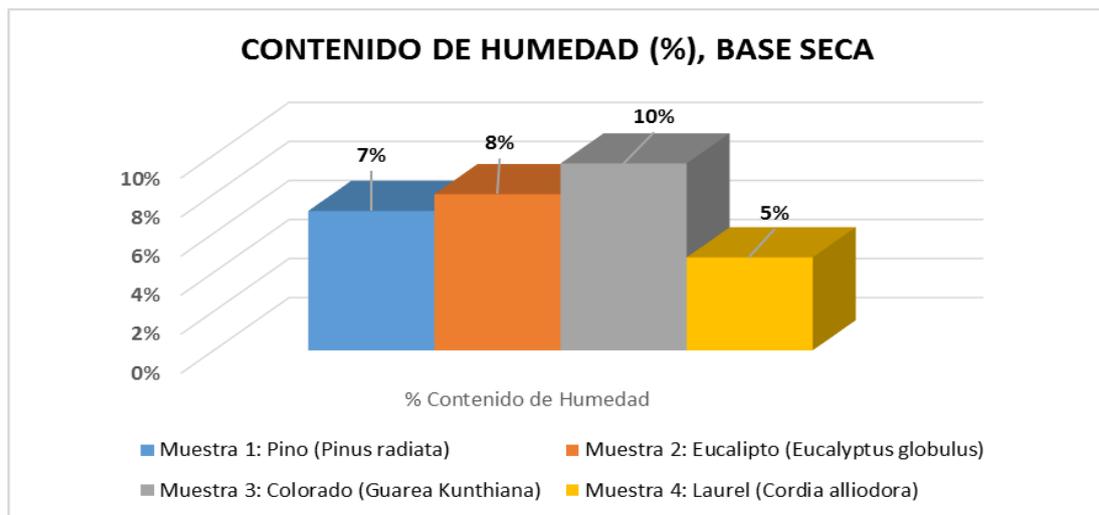


Figura 10.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

El porcentaje de humedad que contiene la biomasa residual, es un factor indispensable para el aprovechamiento energético. De igual manera el contenido de humedad inferior al 50% , por muestra, se toma como referencia en base seca; por lo tanto los resultados obtenidos son idóneos para su uso energético.

Relación poder calorífico –humedad.

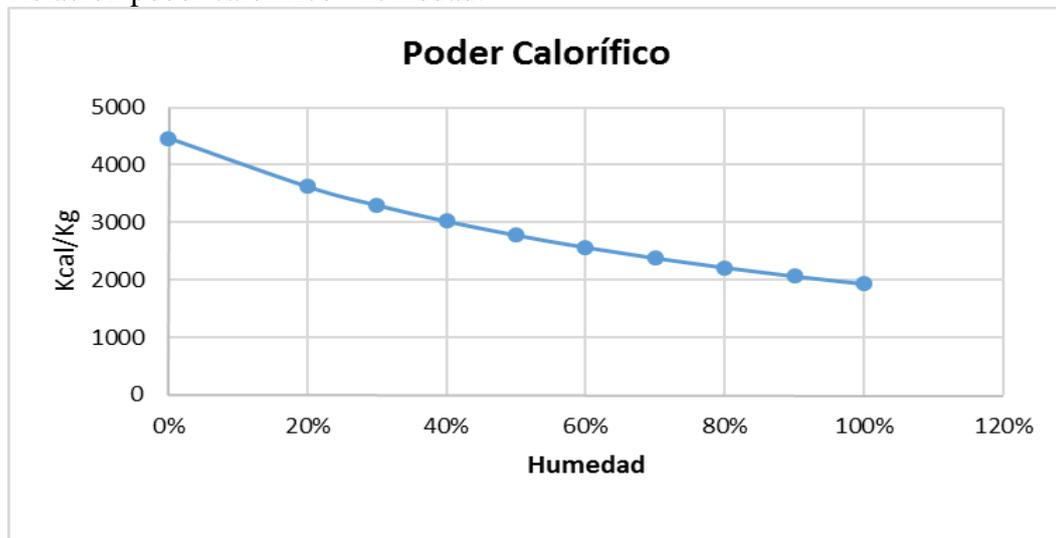


Figura 11.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

A mayor humedad se obtiene menor grado calorífico, por lo que es importante conocer el origen y la manipulación que se ha dado a la biomasa residual.

3.3. Densidad aparente

Esta propiedad física que poseen los biocombustibles sólidos también es dependiente del contenido de humedad según San Miguel & Gutiérrez, (2015), cuanto menos contenido de agua menor es su densidad, pero se incrementa su poder calorífico y densidad energética.

El Departamento de Petróleos Energía y Contaminación (DPEC) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador, realizó los ensayos de densidad arrojando los siguientes resultados (Anexo 4):

Tabla 2
Densidad aparente por muestra.

Especie	Densidad aparente g/ml
Muestra 1: Pino (<i>Pinus patula</i>)	0,048
Muestra 2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	0,102
Muestra 3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	0,161
Muestra 4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	0,66

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Para aumentar la densidad aparente existen procesos mecánicos como la elaboración de pellets, compresión de aserrín mezclado con aditivos químicos, elevando el rendimiento de la caldera puesto que habría una mejor combustión y menos contenido de cenizas; pero incrementaría costos en su fabricación.

3.4. Tamaños de partículas de la biomasa residual

Gran parte de aserraderos utilizan herramientas como discos de sierra, montado sobre una base metálica o bien de madera, esto con el fin de aprovechar el movimiento rotativo de la herramienta y cortar las trozas de madera en distintas posiciones, por ejemplo: corte axial, longitudinal y radial.

Cortes de madera con disco de sierra.

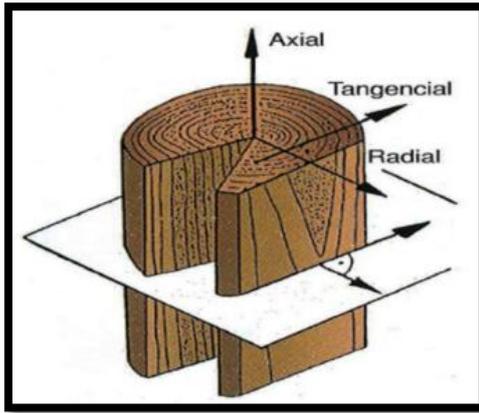


Figura 12.
Fuente: Tháí (2010).

De igual manera el proceso de cepillado, mediante su cuchilla, la cual está alojada en un rodillo y con la fuerza de esta herramienta, arrastra de a poco a la pieza de madera permitiendo obtener superficies más lisas y sin asperezas.

El desperdicio de material, aserrín, virutas y astillas, que producen estas operaciones es en distintos tamaños.

Residuos de madera obtenidos en aserraderos. a) aserrín, b) virutas y c) astillas.

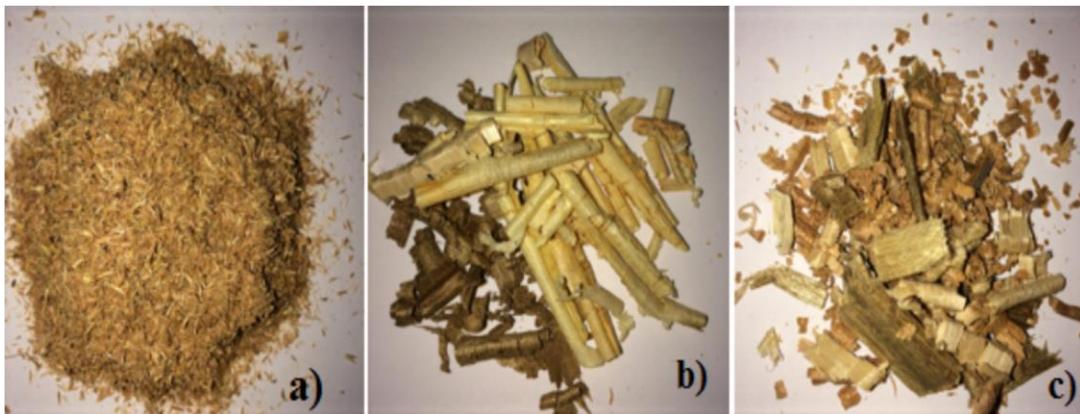


Figura 13.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

3.4.1. Tamaño de partículas

Tabla 3

Tamaño de partículas.

Especie	Tamaños (mm)		
	Aserrín	Virutas	Astillas
Muestra 1: Pino (<i>Pinus patula</i>)	Tamaño típico de partículas de 1 a 5mm	Desprendimiento de material por la fricción con herramienta mecánica, tamaños desde 3mm hasta 30mm	Forma subrectangular y una longitud comprendida de 5mm hasta 50mm
Muestra 2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)			
Muestra 3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)			
Muestra 4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)			

Nota: Fuente: FAO (2004, pág. 37)

3.5. Composición básica química de la madera y niveles de contaminación.

Para la puesta en marcha de generadores de vapor se utiliza por lo general dos tipos de combustible: el diésel 2 y el bunker, este último usado en calderas de centrales térmicas. Al ser carburantes provenientes de fósiles de hace millones de años, contienen elevados porcentajes de azufre y carbón y al ser mezclados en un ambiente de oxígeno, producen CO₂ dióxido de carbono y SO₂ dióxido de azufre, gases que afectan directamente la atmósfera; incrementando los gases de efecto invernadero GEI.

Tabla 4

Composición de combustibles fósiles para generadores de vapor.

Combustible	Composición %						
	C	H	S	O	N	Agua	Cenizas
Fuel oíl ligero	85,5	12,5	1,8	0,1	0,1	-	-
Fuel oíl pesado	84,5	11,5	3,5	0,1	0,4	-	-
Fuel oíl No1	84,6	9,7	2,7	-	1	1,5	0,5
Fuel oíl No2	83,7	9,2	3,6	-	1	2	0,5
Diesel oíl 2	86	11,1	0,8	-	1	1	0,1

Nota: Fuente: Torella (2014).

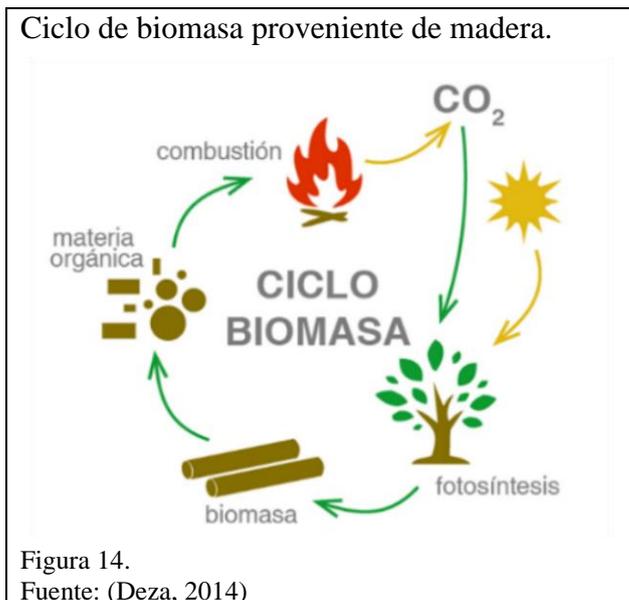
La biomasa residual proveniente de la madera de aserraderos tiene otra perspectiva desde el punto de vista ambiental. De acuerdo a la composición básica de la madera donde en un 50% corresponde a carbón, y al ser sometida a combustión, produce gases tipo CO y CO₂, este último el de mayor importancia.

Tabla 5
Composición básica de la madera.

Componentes	Porcentaje %
Carbono C	50
Hidrógeno H	6,1
Oxígeno O	42
Azufre S	0,1
Nitrógeno N, Minerales	0,8
Cenizas	1

Nota: Fuente: Kollman (1951, pág. 137).

La madera posee en proporciones muy bajas azufre 0.1% lo cual es una ventaja frente a los derivados del petróleo; por lo cual la contaminación de la biomasa proveniente de desechos de madera es neutra debido a que los gases producidos por la combustión son nuevamente captados por las plantas a través de la fotosíntesis.



Tanto la biomasa residual proveniente de la madera como combustibles fósiles son de importancia en la industria y a nivel doméstico, sin embargo, se debe fomentar el uso de combustibles renovables, disminuir la dependencia de derivados de petróleo; con el fin de mitigar los niveles de contaminación.

3.6. Contenido de cenizas

Para especies como el pino y el eucalipto se tiene un porcentaje de cenizas inferior al 0.5%, lo cual refleja que al combustionar estas maderas poseen menos materia sólida no combustionada. Ensayo realizado por el DPEC. (Anexo 5).

Tabla 6
Contenido de cenizas

Especie	% de Cenizas
Muestra 1: Pino (<i>Pinus patula</i>)	0,3169
Muestra 2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	0,3724
Muestra 3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	1,2061
Muestra 4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	1,5375

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Las cenizas producto de la combustión de la madera, por su alto contenido de carbonato de potasio o potasa, son usadas como fertilizante para cultivos. En otros tipos de biomasa residual agrícola, las cenizas son usadas en la construcción civil en sustitución del cemento.

3.7. Poder calorífico superior (Bruto)

Para determinar el contenido calorífico superior o bruto se empleó un calorímetro adiabático. Bajo la norma ASTM D-240 que recomienda el fabricante. Este ensayo se realizó en el Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional (EPN).

3.7.1. Calorímetro adiabático

Es un instrumento usado para medir la cantidad de calor de la combustión de una sustancia líquida o sólida, cuando se quema a volumen constante. El principio de funcionamiento se basa en la transferencia de calor que se desarrolla entre la bomba de oxígeno y el agua del recipiente metálico que lo contiene.

Calorímetro adiabático, fabricación americana marca Parr modelo 1241.



Figura 15.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

De acuerdo con la norma ASTM D-240, sugiere realizar otra repetición. En este ensayo se realizó tres veces el mismo procedimiento para cada muestra; esto para ratificar los resultados arrojados por el equipo.

Para el cálculo del poder calorífico, el fabricante recomienda utilizarla siguiente ecuación:

$$PC = \frac{\Delta T \times C_1 - \Delta l_{\text{alambre}} \times C_2}{\Delta m} \quad \text{[Ecuación 32]}$$

Donde:

PC = Poder calorífico de la muestra. $\left[\frac{J}{g}\right]$

ΔT = Diferencia del gradiente de temperatura ($T_f - T_i$). $[\text{°C}]$

C_1 = Constante del calorímetro, en base a su calibración por medio de pastillas de benzoico de 1gramo. $7654,7 \left[\frac{J}{\text{°C}}\right]$

$\Delta l_{\text{alambre}}$ = Diferencial de la longitud del alambre de ignición Ni-Cr, antes y después de la combustión ($l_i - l_f$). $[\text{cm}]$

C_2 = Constante del alambre de ignición No. 45C10 marca Parr. $9,6296 \left[\frac{J}{\text{cm}}\right]$

Δm = Diferencia del peso de la muestra. Peso inicial menos la cantidad de cenizas después de la combustión ($m_{\text{muestra}} - m_{\text{cenizas}}$). [g]

Parámetros:

Parámetro	Valor	Unidad
Constante calorímetro	7654,7	J/°C
Peso Alambre	0,00164	g/cm
Calor de combustión del alambre	9,614	J/cm

Los resultados obtenidos por muestra son los siguientes, utilizando la ecuación 3.1:

Tabla 7

Resultados poder calorífico bruto, Laboratorio E.P.N.

Muestra	Poder Calorífico Superior MJ/Kg
M1: Pino (<i>Pinus radiata</i>)	17,7807
M2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	17,6244
M3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	18,6270
M4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	18,9130

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Para corroborar los resultados de estos ensayos, las mismas muestras de biomasa se enviaron al Departamento de Petróleos Energía y Cotaminación DPEC.

Los resultados son los siguientes:

Tabla 8

Resultados poder calorífico bruto, DPEC (Anexo 6).

MUESTRA	Poder Calorífico Superior MJ/Kg
M1 Pino (<i>Pinus patula</i>)	17,3861
M2 Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	17,2571
M3 Colorado (<i>Schinopsis balansae</i>)	18,0667
M4 Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	18,499

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

3.8. Comparación de valores PCS obtenidos en Laboratorio EPN y DPEC

Existe una varianza entre el 7 y 15% de los resultados obtenidos entre ambos laboratorios. Por medio de la desviación estándar los datos proporcionados en el laboratorio de la Universidad Central son los adecuados para cálculos posteriores, puesto que poseen menos desviación en relación con los obtenidos en la EPN.

a) Resultados de laboratorios EPN y DPEC y b) Desviación estándar.

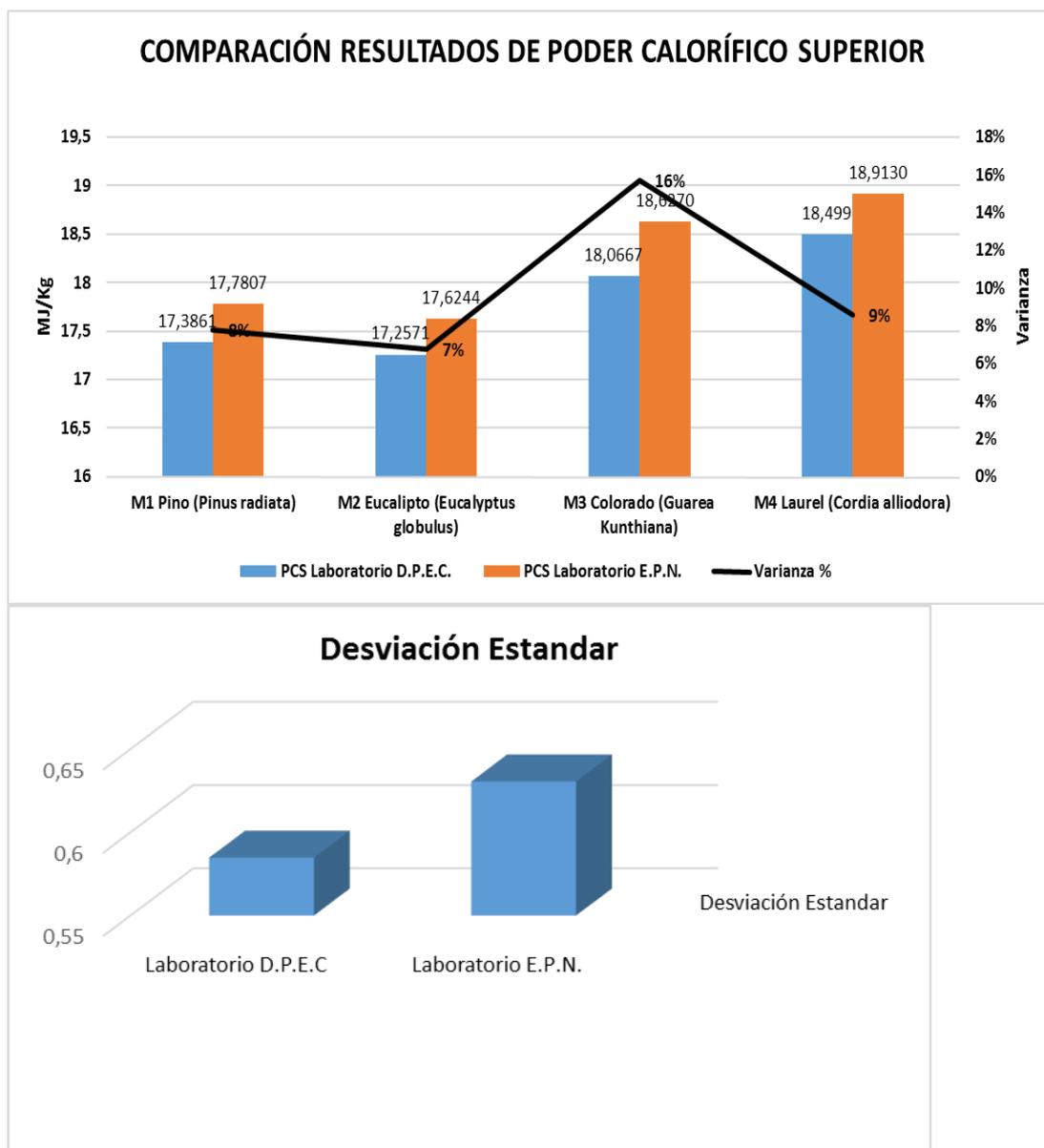


Figura 16.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

3.9. Poder calorífico inferior (Neto)

Para el cálculo del poder calorífico inferior se emplea la ecuación 10 desarrollada anteriormente.

$$PCI = \frac{PCS - 600(u + 9h)}{1 + u}$$

Los resultados obtenidos son:

Tabla 9
Poder calorífico inferior (neto).

Muestra	Poder Calorífico Inferior MJ/Kg	kcal/Kg
M1: Pino (<i>Pinus radiata</i>)	14,7597	3531,02
M2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	14,5028	3469,58
M3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	14,9973	3587,87
M4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	16,2133	3878,78

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Diferencia poderes calorífico superior e inferior.

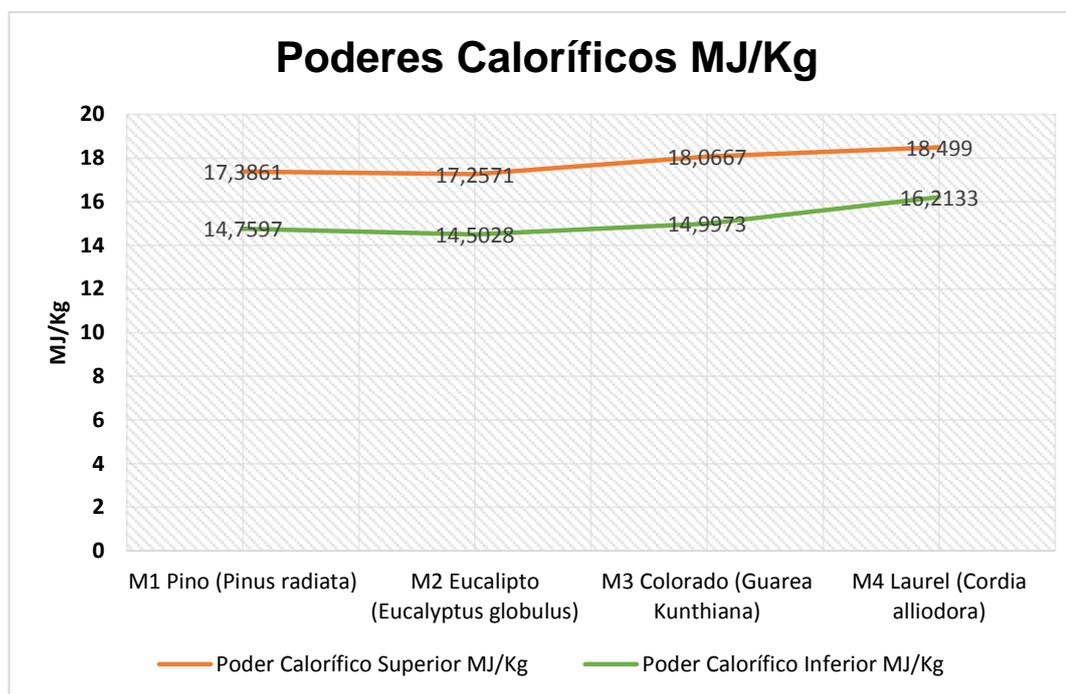


Figura 17.
Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

El poder calorífico neto o inferior, que es el contenido energético utilizable varía 2,29 a 3,06 MJ/Kg con el poder calorífico bruto o superior; es decir que el

contenido de humedad por muestra es una variable representativa de acuerdo al tipo de madera, del cual proviene la biomasa.

3.10. Datos técnicos de la caldera

El generador de vapor a analizar es pirotubular marca Distral de fabricación colombiana (Gallardo, J., 2000). Se seleccionó este caldero debido a que, para el análisis, se requiere datos experimentales tomados en campo; adicional en el país no existen calderos que funcionan con combustibles de biomasa proveniente de madera. El caldero en mención es utilizado en la microindustria alimenticia.

Tabla 10
Datos técnicos de la caldera de vapor

Marca	Distral
BHP	30HP
Tiempo de trabajo	8h/día
Consumo de combustible fósil	5 galones / h
* Consumo de combustible Biomasa	12,45 kg/h
Tipo	diesel 2
PCI Diésel 2 Kcal/l	8791,38
Contenido de agua nivel mínimo (lb)	1468
Cantidad de vapor producida	550 kg vapor /hora
% retorno condensado	89,1% aprox.
Presión de trabajo	50 PSI
Tipo de agua de alimentación	Tratada
°T promedio agua que ingresa al IC	46,5°C
°T Ambiente	20°C
°T Pared	40°C

*Valores infieren de acuerdo al PCI ver Tabla 9.

Nota: Fuente: Gallardo (2000).

3.11. Flujo de biomasa equivalente

Nogués & Royo (2002) del Centro de investigación de Recursos y Consumos Energéticos CIRCE, estima que el promedio de cada kilogramo de biomasa equivale a 3500 kcal.

Para el caso de la caldera, utiliza diésel 2, se obtiene el siguiente análisis:

$$\text{PCI diésel 2} = 9990.1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$\rho_{\text{diésel}} = 0.88 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

$$\dot{m} = \frac{5\text{l}}{\text{h}} \text{ de diésel 2}$$

En función del volumen:

$$\text{PCI diésel 2} = \text{PCI} \times \rho_{\text{diésel}}$$

$$\text{PCI diésel 2} = 9990.2 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times 0.88 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

$$\text{PCI diésel 2} = 8791.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{l}}$$

Flujo total necesario:

$$\dot{m} = 8791.38 \frac{\text{Kcal}}{\text{l}} \times \frac{5\text{l}}{\text{h}}$$

$$\dot{m} = 43956.88 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

La caldera requiere en 5 litros de diésel 2, la cantidad de 43956.88 Kcal por hora. Por lo tanto, para el total de calorías necesarias, la equivalencia en biomasa residual de madera, se divide para cada poder calorífico inferior PCI, como se muestra en la tabla 11:

Muestra 1: Pino (*Pinus radiata*)

$$\text{PCI} = 3531,02 \text{ Kcal/Kg}$$

$$\text{Kg} \sim \text{de biomasa} = \frac{43956.88 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}}{3531.02 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}}$$

$$\text{Kg} \sim \text{de biomasa} = 12.45 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se requiere un flujo de masa de $\dot{m} = 12.45 \text{ kg}$ de biomasa por hora.

Tabla 11
Equivalencia de biomasa por muestra.

Tipo de Biomasa	PCI (Kcal/Kg)	Equivalencia en flujo de masa para caldero (Kg/h)
Muestra 2: Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	3469,58	12,67
Muestra 3: Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	3587,87	12,25
Muestra 4: Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	3878,78	11,33

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

3.12. Cálculo balance energético

Tabla 12
Balance energético obtenido por cada muestra.

Tipo de Muestra	Q entrada Kcal/h	Q salida Kcal/h	Q pérdidas 23%	Rendimiento %
Muestra 1 (<i>Pinus radiata</i>)	43961,2	33850,124	10111,07	77%
Muestra 2 Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	43959,57	33848,51	10110,7	
Muestra 3 Colorado (<i>Guarea Kunthiana</i>)	43951,41	33840,34	10108,24	
Muestra 4 Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	43946,57	33835,51	10107,71	

Nota: Elaborado por: Juan Arroyo (2015).

Hay que acotar cuanto menos pérdidas se obtenga la combustión será más completa y por ende el rendimiento aumentará, de ahí la importancia del estudio de eficiencia energéticas de los dispositivos termodinámicos.

3.14. Cálculo balance de exergía

Para el cálculo se parte de la ecuación 19:

$$\psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) - T_0(S_2 - S_1)$$

$$\psi_2 - \psi_1 = (2492.45 - 579.56) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} - 293 \text{ }^\circ\text{K}(6.3707 - 1.72174) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\psi_2 - \psi_1 = 550.74 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg H}_2\text{O}}$$

Flujo másico de productos y agua, ecuación 23. La temperatura desciende de 620 a 200 °C a presión constante y $C_p = 1.87 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \text{°K}$:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{(2492.45 - 579.56)}{1.87(620 - 200)}$$

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} = 2.435$$

Mediante la ecuación 26, la cual parte de la ecuación de la continuidad y la primera ley:

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} (\psi_3 - \psi_4) = 2.435 \left[1.87(620 - 200) - 293(1.87 \ln \frac{893}{473}) \right]$$

$$(\psi_3 - \psi_4) = 1064.60 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg H}_2\text{O}}$$

La eficiencia exergética o de la segunda ley en base al balance, ecuación 27:

$$\eta_{\text{exergético}} = \frac{\dot{m}(\psi_2 - \psi_1)}{\dot{m}(\psi_3 - \psi_4)}$$

$$\eta_{\text{exergético}} = \frac{550.74}{1064.60}$$

$$\eta_{\text{exergético}} = 0.5173 \rightarrow 51,7\%$$

La cantidad que genera la caldera de vapor útil expresada en calidad exergética, usando los insumos para este proceso, es del 51,7% y la otra mitad se desperdicia, es decir que del 77% de cantidad de energía útil el 51,7% es realmente lo que se aprovecha en este dispositivo.

3.13. Cálculo de entropía

Para el cálculo correspondiente se debe conocer los siguientes datos:

$$P_{\text{Salida vapor}} = 50 \text{ PSI} = 344.74 \text{ kPa}$$

$$X_{\text{calidad vapor}} = 0.89$$

$$^{\circ}\text{T}_{\text{H}_2\text{O entrada caldera}} = 46.5^{\circ}\text{C}$$

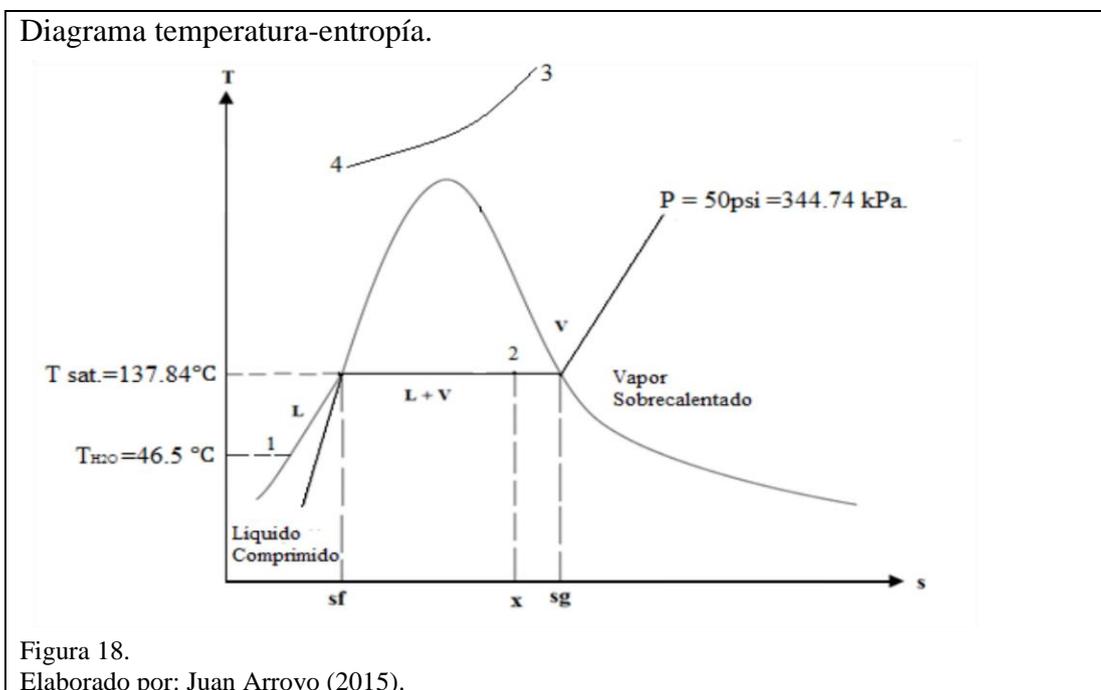
$$^{\circ}T_3 = 620^{\circ}\text{C} + 273 = 893^{\circ}\text{K} , \quad ^{\circ}T_4 = 200^{\circ}\text{C} + 273 = 473^{\circ}\text{K} .$$

De la tabla A-5, del libro de Termodinámica Yunus Cengel 6ta edición, se obtiene los siguientes valores interpolando:

$$^{\circ}T_{\text{sat.}} = 137.84^{\circ}\text{C}$$

$$s_f = 1.72174 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \quad s_g = 6.9454 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \quad s_{fg} = 5.22367 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$h_f = h_1 = 579.56 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad h_{fg} = 579.56 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$



Con la ecuación 28:

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

$$s_1 = s_f = 1.72174 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$s_2 = s_f + x s_{fg}$$

$$s_2 = 1.72174 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} + (0.89 \times 5.22367) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$s_2 = 6.3707 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$\Delta S = s_2 - s_1$$

$$\Delta S = (6.3707 - 1.72174) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta S = 4.6490 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta S = 1.1122 \times 10^{-3} \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

Para el cálculo de la variación de entropía de los productos en la caldera, se sitúa en los puntos 3 y 4 del diagrama temperatura-entropía de la figura 18:

$$\Delta_{S \text{ Productos}} = (s_4 - s_3)_{\text{Productos}} = C_p \times \ln \frac{T_e}{T_i}$$

$$\frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} (s_4 - s_3) = \frac{\dot{m}_{\text{Productos}}}{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}} - C_p \times \ln \frac{T_e}{T_i}$$

$$(s_4 - s_3)_{\text{Productos}} = 2.435 \times -1.87 \left(\ln \frac{893}{473} \right)$$

$$(s_4 - s_3)_{\text{Productos}} = -2.8937 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta_{S \text{ Total}} = \Delta_{S \text{ Productos}} + \Delta_{S \text{ del Sistema}}$$

$$\Delta_{S \text{ Total}} = (-2.8937) + 4.6490 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta_{S \text{ Total}} = 1.7553 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

$$\Delta_{S \text{ Total}} > 0 \quad \therefore \text{Proceso Irreversible.}$$

De acuerdo con Cengel & Boles (2009, pág. 139) menciona que la entropía de un sistema puede ser negativa pero la generación total de entropía no, por lo que el resultado obtenido cumple con este enunciado.

Conclusiones

- La biomasa producida por los desechos de la madera en aserraderos es un potencial idóneo para la producción de energía térmica, aplicada en distintas maneras como, por ejemplo: generadores de vapor, hornos, turbinas, etc.
- Los poderes caloríficos de cada tipo de biomasa existente en los aserraderos de la provincia de Pichincha, depende de la manipulación e indispensablemente del almacenamiento, puesto que de ahí deriva la cantidad de energía en función de la humedad. La biomasa con un 10% de humedad es óptima para su aprovechamiento energético ya que no figura costos adicionales en procesos previos como por ejemplo el secado; sino que su uso puede aprovecharse de manera directa.
- El método termoquímico de combustión para la biomasa, es el más directo y económico, debido a que en su diseño no representa muchas complejidades. La alimentación de biomasa hacia el quemador de la caldera y el almacenamiento de este recurso, son adaptaciones que requieren nuevos diseños.
- Los combustibles fósiles tienen una ventaja de 3 a 1 en cuanto a su grado calórico con la biomasa residual de madera, pero la contaminación que emiten estos, es considerable.
- Los niveles de polución que emite la combustión de biomasa es neutro, puesto que las emisiones de CO₂ son reabsorbidas por las plantas por medio de la fotosíntesis. Los combustibles derivados de petróleo emiten gases contaminantes de origen fósil, es decir de cantidades de carbono de hace millones de años, por lo que son liberados a la atmósfera, produciendo gases de efecto invernadero.
- La caldera representa un 77% de aprovechamiento de la cantidad de calor que emite este biocombustible (biomasa), pudiendo mejorar la cantidad de

pérdidas para una mejor eficiencia, sobre todo en las pérdidas químicas de gases de combustión.

- La calidad medida por la eficiencia exergética o segunda ley, es del 51%, siendo el 49% del total de vapor generado un desperdicio en este tipo de dispositivos.

Referencias

- Aguinaga, A. (2010). *Seminarios Industriales de Generación de Vapor*. Quito: EPN.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2009). *Termodinámica*. México: McGrawHill.
- CIE. (2013). *INVENTARIO DE BIOMASA RESIDUAL DE LA POSCOSECHA Y AGROINDUSTRIA A NIVEL CANTONAL Y PROVINCIAL*. Quito: CIE.
- Coordinación de Energías Renovables, et al. (2008). *Energías Renovables*. Buenos Aires: Coordinación de Energías Renovable.
- Deza, M. (19 de Noviembre de 2014). *Conciencia Eco*. Obtenido de Conciencia Eco: <http://www.concienciaeco.com/2014/11/19/biomasa-alternativa-verde-para-calentar-tu-hogar/>
- Echeverría, M., & López, O. (2010). *Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica*. Quito: EPN.
- Ecuador Forestal. (2007). *Planificación Estratégica Transformación y Comercialización de madera en el Ecuador*. Quito: Ecuador Forestal.
- FAO. (2004). *Termonilología Unificada de Bioenergía*. Quito: FAO/<http://www.fao.org/docrep/009/j6439s/j6439s00.htm>.
- Gallardo, J. (2000). *Balance de masa y energía de un caldero marca distral de una microindustria de alimentos*. Quito: UCE.
- INER. (01 de Enero de 2013). Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Pichincha, Ecuador.
- Kollman, F. (1951). *Tecnología de la Madera*. Munich: Gráficas reunidas.
- Nogués, F., & Royo, J. (2002). *CICLO ENERGÍAS RENOVABLES JORNADAS DE BIOMASA*. Zaragoza: Fundación CIRCE.
- San Miguel, G., & Gutiérrez, F. (30 de Septiembre de 2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética*. Obtenido de Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética:

<https://books.google.com.ec/books?id=k9ISCgAAQBAJ&pg=PA113&lpg=PA113&dq=densidad+aparente+biomasa+humedad>

Thái, Q. (29 de Marzo de 2010). *Thai Químicas*. Obtenido de Thai Químicas: <https://quimicathai.wordpress.com/2010/03/>

Torella, E. (2014). *La Combustión combutibles tipos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Urria, E. (2009). *Fotosíntesis: Aspectos Básicos*. Madrid: Urria.

Van Wylen, G. (2003). *Fundamento de Termodinámica*. México: LIMUSA SA.

**Anexo 1 Oficio de respuesta emitido por la Dirección Nacional Forestal.
Volumen movilizado por especies forestales utilizadas en las industrias
madereras.**

 **Ministerio
del Ambiente**

 **GOBIERNO NACIONAL DE
LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

Oficio Nro. MAE-DNF-2015-0238
Quito, D.M., 25 de agosto de 2015

Asunto: SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Señor
Juan Sebastián Arroyo Vinueza
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta al oficio s/n de fecha 20 de agosto de 2015, en el que se solicita información para el proyecto de investigación "Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor", se adjunta documento con la información solicitada referente a los centros de destino final registrados como industrias en el Sistema de Administración Forestal en el 2014, así como el volumen movilizado por especies forestales utilizadas en dichas industrias.

Cabe mencionar que el MAE regula la procedencia legal del producto forestal existente en los centros de destino final, más no la utilización de los mismos, por lo que no se dispone de la información solicitada referente al manejo que las industrias dan a los desechos de madera después de aprovechamiento ni la cifra de desechos de madera que emiten las empresas y la finalidad de los mismos.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente
Ing. Stalin Vladimir Placencia Berrú
DIRECTOR NACIONAL FORESTAL

Referencias:
- MAE-SG-2015-11223

Anexos:
- JUAN SB.pdf
- Destino Final Pichincha 2014.xls

Papel Ecológico

Calle Madrid 1159 y Andalucía
Quito - Ecuador
Codigo Postal: 170109
Teléfonos: (593 2) 9 987600
www.ambiente.gob.ec

* Documento generado por Quipux

1/2

Oficio Nro. MAE-DNF-2015-0238
Quito, D.M., 25 de agosto de 2015

Oficio Nro. MAE-DNF-2015-0238
Quito, D.M., 25 de agosto de 2015

Asunto: SOLICITUD DE INFORMACIÓN PARA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Copia:
Señor Economista
Juan Isaac Monteros Perugachi
Estadístico

jm/mo

Juan Sebastián Aragón Yáñez
Jefe de Oficina

De la consideración
El presente oficio es de fecha 25 de agosto de 2015, en el que se solicita información para el proyecto de investigación "Apoyamiento del sector páramo a partir de los servicios de riego para una cadena de valor", en algunos documentos con la información solicitada referente a los centros de riego para riego como indican en el Sistema de Administración Forestal en el SIAF, así como el número registrado por estos centros de riego en dichas instancias.

Como mencionar que el MAE regula la producción según los recursos forestales existentes en los centros de destino final, más no la utilización de los mismos, por lo que no se dispone de la información solicitada respecto al manejo que los usuarios dan a los recursos de riego, tales como el aprovechamiento y la clase de destino de riego que cubren las empresas y la familia de los mismos.

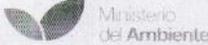
Con sentimientos de alta estima,
Atentamente,

Juan Sebastián Aragón Yáñez
Jefe de Oficina
DIRECTOR NACIONAL FORESTAL
Teléfono: 02-222-1133
- MAE-20-20-1133
FAX: 02-222-1133
- LUVA 20 113
- Gestión Forestal Páramo 2015

NOMBRE CIENTIFICO	VOLUMEN MOVILIZADO (m3)		
Abarema jupunba	34,69	Chrysophyllum argenteum	382,64
Acacia dealbata	35,05	chrysophyllum spp.	407,11
Acacia glomerosa	2.572,13	Citronella ilicifolia	4,04
Acacia melanoxylon	9,47	clarisia racemosa	33,36
acrocarpus fraxinifolius wight	665,53	Cojoba arborea	638,41
Aegiphila cuatrecasasii	85,38	COLUBRINA SP	0,96
Agonandra excelsa	7,47	Cordia alliodora	63.552,96
Anacardium excelsum	2.910,40	Cordia hebeclada	17,94
andira spp.	66,62	Cordia lutea	4,04
annona spp.	196,97	coussapoa spp.	19,78
Apeiba aspera	70,84	Crescentia cujete	4,50
Apeiba membranacea	86,46	croton spp	47,61
Artocarpus altilis	13,13	Cupania cinerea	36,25
Aspidosperma laxiflorum	1,09	cupresus macrocarpa	3.764,26
Bambusa vulgaris	3,93	Dacryodes occidentalis	1.311,10
Banara guianensis	2,30	Dacryodes peruviana	6.455,03
beilschmiedia rohlana	746,07	Dendrocalamus asper	294,55
Bellschmiedia spp.	89,69	Dialyanthera parvifolia	3,79
Boehmeria caudata	5,83	DRACRYODES SPP	2,01
bombax malabricum	52,63	Dussia lehmannii	284,82
Brosimum alicastrum	141,55	Elaeagia utilis	3,08
Brosimum guianense	21,76	Erisma uncinatum	3.187,34
brosimum spp.	2.355,56	erythrina poeppigiana	10.769,73
Brosimum utile	26.823,32	erythrina spp	119,33
Cabralea canjerana	73,01	eschweilera spp.	801,21
Caesalpinia spinosa	14,54	eucaliptus robusta	45,54
Calliandra angustifolia	2,99	Eucalyptus globulus	87.123,82
Calocarpum mammosum	102,55	Eucalyptus grandis	2.050,84
Calophyllum brasiliense	18,87	Eugenia myrobalana	4,73
Calycophyllum spruceanum	139,33	Euphorbia laurifolia	23,69
Calyptanthus plicata	28,20	ficus spp.	1.653,68
Campnosperma panamensis	39,61	Genipa americana	8,58
Capirona decorticans	3,43	Gmelina arborea	6.412,70
Carapa guianensis	1.067,78	Grias neubertii	0,51
Caryodendron orinocense	63,65	guadua acullata	182,97
Cassia cowanii	14,70	Guadua angustifolia	9,95
Castilla elastica	1.236,56	Guarea cartaguenya	4,44
Castilla tunu	19,60	Guarea gomma	37,12
Casuarina equisetifolia	12,58	Guarea kunthiana	1.670,25
Cecropia sciadophylla	124,57	Guarea macrophylla	385,83
Cedrelinga cateniformis	12.809,38	Guarea purusana	78,60
Ceiba insignis	951,78	guarea spp.	159,80
ceiba pentandra	5.568,40	guatteria spp.	2,45
ceiba trichistranda	9,08	Hellocarpus americanus	4,40
celtis schippii	1,15	herrania spp.	10,60
Centrobium ochroxylum	19,85	hevea brasiliensis	1.587,29
Cespedesia spathulata	36,90	Hirtella carbonaria	12,96
Chimarrhis glabriflora	193,00	Huberodendron patinoi	271,80
chimarrhis spp.	28,46	Huertea glandulosa	48,57
humiriastrum spp	217,58	Humiriastrum procerum	1.059,76
hyeronima alchorneoides	9.273,44	otoba spp.	8.654,95
hyeronima chochoensis	37,95	Parinari romeroi	62,57
Hyeronima oblonga	4,12	parinari spp.	43,03
Hymenaea oblongifolia	236,36	Parkia multijuga	20.504,27
Inga cordata	5,51	parkia spp.	3.054,24
Inga edulis	52,18	Persea americana	5,21
inga spp	2.421,06	Persea ferruginea	8,72
Jacaranda copaia	14.876,54	Persea rigens	5,59
Jacaranda mimosifolia	4,15	persea spp.	40,97
jacaranda sparrei	2,40	pinus patula	5.782,94
Jacaratia spinosa	2,34	Pinus radiata	76.069,22
Laguncularia racemosa	47,37	Piptocoma discolor	0,83
licania glauca	649,83	pisclidia carthagenensis	41,43
licania spp.	2,52	pithecellobium micradenium	0,36
		Pleurothyrium tomiwahlii	11,98

Lonchocarpus araripensis	3,71	Podocarpus oleifolius	28,02
Lonchocarpus nicou	2,30	podocarpus spp	21,39
malmea spp.	0,54	Pollalesta discolor	35,79
mangifera indica	1,93	posoqueria spp.	2,67
Matisia alata	2,43	Poulsenia armata	9,04
Matisia coloradorum	0,50	pourouma cecropiifolia	146,90
Matisia cordata	102,85	Pourouma minor	339,06
matisia grandiflora	4,17	pourouma sp	27,26
matisia spp.	27,46	Pouteria caimito	7,77
mauriri sp	21,57	Pouteria lucuma	3,27
maytenus aelivis	4,23	Pouteria multiflora	116,50
miconia sp.	10,65	Pouteria sapota	108,81
micropholis chrysophyllum	789,48	pouteria spp.	815,81
Micropholis spp.	47,31	prioria sp	10,84
Minguartia guianensis	473,02	Protium fimbriatum	15,84
Morella pubescens	226,33	protium spp.	158,54
Mouriri oligantha	340,39	Prumnopitys montana	3,30
Myrcianthes hallii	12,20	Prunus serotina	3,39
Myroxylon balsamum	0,30	pseudobombax millei	10,47
myrsine spp.	48,33	Pseudoimedia laevigata	28,76
Nectandra guaripio	80,52	Pseudoimedia rigida	21,28
Nectandra membranacea	276,12	psidium spp	0,72
nectandra sp.	3.878,17	Rhamnus granulosa	5,55
ochroma lagopus	1.298,84	rollinia spp	17,76
Ochroma pyramidale	400,42	ruagea spp	2,37
ochromadendron spp	4,75	samanea saman	251,44
Ocotea infrafoveolata	33,85	sapium spp	10,44
Ocotea javitensis	12,47	Sapium utile	85,14
Ocotea sericea	3,29	Schefflera morototoni	199,03
ocotea spp.	911,58	Schefflera spp.	116,05
oreopanax spp.	1,74	Schizolobium parahyba	18.693,75
ormisia sp.	1,33	Simarouba amara	165,85
Osteophloeum platyspermum	1.051,28	simarouba spp.	5,73
Otoba gordonifolia	172,06	Simira cordifolia	104,34
Otoba gracilipes	305,77	simira sp.	12,56
Sloanea fragrans	18,02	terminalia superba	1.142,25
Sloanea grandiflora	138,42	Terminalia valverdeae	7,33
spondia spp	5,69	Tetragastris varians	0,94
Spondias mombin	376,92	trattinnickia barbouri	1.985,91
AGUILLO (Spp 11)	1,03	Trattinnickia glaziovii	1.514,41
AVEJON (Spp 12)	1,05	Trema integerrima	222,55
FLOR DE GUANTA (Spp 22)	2,45	Trema micrantha	675,87
GUIJARRO (Spp 26)	1,80	trichilia pleeana	9,54
LENTEJA (Spp 31)	4,29	trichilia spp.	6,40
MARGARITO (Spp 34)	19,29	trichospermum spp	520,42
MEDIO LAGARTO (Spp 35)	4,71	Triplaris cumingiana	0,12
PALO BLANCO (Spp 43)	72,68	Triplaris guayaquilensis	334,30
PECHUGA DE GALLINA (Spp 45)	58,32	triplaris spp.	354,78
PEPON (Spp 47)	45,67	Viola dixonii	3.106,24
SACHA CEIBO (Spp 54)	3,47	Viola duckei	145,47
CATANGAL (Spp 79)	4,98	Viola reidii	51,17
PACHE (Spp 89)	3,00	Viola sebifera	4,01
CAGUA (Spp9)	4,45	viola spp.	12.882,78
sterculia sp	8.022,12	Vitex cymosa	1,98
Styloceras laurifolium	1,61	vitex spp.	1,41
Swartzia littlei	13,09	Vochysia bracediniae	153,80
Symphonia globulifera	94,75	Vochysia ferruginea	14,44
tabebuia donald smit	1.435,99	Vochysia macrophylla	105,33
Talauma dixonii	15,21	vochysia spp.	5.567,49
tapiria spp.	13,90	zanthoxylum spp.	261,86
Tapirira guianensis	3,19	TOTAL	479.060,81
tectona grandis	4.205,10		
Terminalia amazonia	44,86		
terminalia ivorensis	6.092,10		
Terminalia oblonga	450,28		

**Anexo 2 Oficio de respuesta emitido por la Dirección Provincial de ambiente.
Legislación ambiental nacional vigente**

 Ministerio del Ambiente

 GOBIERNO NACIONAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Oficio Nro. MAE-DPAPCH-2015-1227
Quito, D.M., 17 de agosto de 2015

Asunto: Respuesta a solicitud de información para Proyecto de Investigación sobre Aprovechamiento del Recurso Biomasa a partir de los Desechos de Madera para una caldera de Vapor

Señor
Juan Sebastián Arroyo Vinuesa
En su Despacho

De mi consideración:

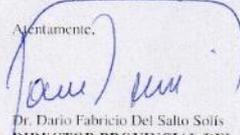
En atención al oficio sin número de fecha 11 de agosto de 2015, respecto a la solicitud de información para Proyecto de Investigación, me permito indicar lo siguiente:

1. La información referente al catastro de las empresas procesadoras de madera que posee la provincia, se genera a través del Sistema de Administración Forestal SAF mediante el registro de la actividad denominada INDUSTRIA FORESTAL, dicho registro e información estadística que se genera la administra la Dirección Nacional Forestal.
2. En relación a la información "Tipos de madera [...]", esta deberá recopilarse en campo con las industrias que realizan la actividad de aprovechamiento de desechos que contempla el proyecto.
3. En lo referente a la legislación ambiental (nacional) vigente, el manejo de los desechos sólidos se encuentra contemplado en el Anexo 6 del libro VI del TULAS relacionado con la Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, adicionalmente deberá remitirse a la dependencia municipal correspondiente para incorporar en su proyecto la normativa vigente a nivel local.
4. El punto cuarto también corresponde a trabajo de campo que deberá realizarlo a través de la recopilación de la información de las industrias.

Por lo expuesto, la información que genera el Ministerio del Ambiente referente al primer punto debe solicitarla a la Dirección Nacional Forestal dependencia encargada del manejo de la información del Sistema de Administración Forestal SAF, los puntos restantes deberá recopilarlo el interesado del proyecto.

Con sentimientos de distinguida consideración:

Acentamente,


Dr. Dario Fabricio Del Salto Solis
DIRECTOR PROVINCIAL DEL AMBIENTE DE PICHINCHA



Referencias:
MAE-DPAPCH-2015-2339

Anexos:
- escanear5771.pdf

h/ty

Papel Ecológico

Ministerio del Ambiente
Calle Luis Cordeiro 752 y Av. 6 de Diciembre - Edificio Carrius Plaza
Quito - Ecuador
Teléfonos: (593 2) 2 965 741 - 2 965 845
www.ambiente.gob.ec

Documento generado por Oryzon

1/1

Anexo 3 Guías y detalle de productos que ingresan a Aserraderos. Hoja de control por especie de madera





04674899088097

GUIA DE CANJE EMPRESA DE ORIGEN / DESTINO Y TRANSPORTE ---

<p>ORIGEN</p> <p>Sucursal #: 1 Razón Social: CUICHAN HARO CARLOS NICOLAS R.U.C.: 1701455568 Dirección: VÍA A PINTAG y A UNA CUADRA DE SAN CARLOS - BARRIO EL BATAN, A UNA CUADRA ANTES DE LA ENTRADA AL BARRIO SAN CARLOS "CHACHIL" Teléfono: 022383027 Provincia: PICHINCHA Cantón: QUITO Parroquia: PINTAG</p>	<p>DESTINO</p> <p>Sucursal #: 4 Razón Social: VEGA PEREZ VEGAPE CIA. LTDA. R.U.C.: 1791410904001 Dirección: AV. OSWALDO GUAYASAMIN y CALLE N4A - A UNA CUADRA DEL SEMAFORO LA MORITA Teléfono: Provincia: PICHINCHA Cantón: QUITO Parroquia: TUMBACO</p>	<p>VEHÍCULO</p> <p>Placa: PCB7898 Color: BLANCO Marca: HINO Tipo: Camión</p>
--	--	--

Valida desde: 2015-09-29 09:00:00 hasta: 2015-09-30 09:00:00 tiempo en horas: 24

DETALLE DE PRODUCTOS INGRESADOS

No	PROGRAMA	GUIA USADA	PRODUCTO	ESPECIE	LARGO	DIAMETRO/ESPESOR	ANGRO	UNIDADES	VOLUMEN CANJEADO	VOLUMEN MOVILIZADO
1	PAFPL14449043416	611E324A43E4 6153D64A43E4 61132E4A43E4	Aserrada Tablas	EUCALIPTO «Eucalyptus globulus»	2.50	0.025	0.15	500	9.38	4.69
TOTAL									9.38	4.69

Declaro que los datos en esta guía se apegan a la verdad y en caso contrario, asumo las responsabilidades legales conforme a los artículos 78 y 94 de la Codificación de la Ley Forestal y Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.



CUTCHAN HARO CARLOS NICOLAS
1701455568
INDUSTRIA



PUESTO FIJO DE CONTROL
FORESTAL Y VIDA SILVESTRE
BAEZA - SAKRO



Ministerio
del Ambiente

ORIGINAL FIEL COPIA
FECHA: 09/09/15 HORA: 05:30 PLACAS: SAC 0492
NOMBRE DEL CONDUCTOR: Juan P. Alonso
INSPECTOR FORESTAL: Acosta
FIRMA INSPECTOR FORESTAL: [Firma]



6434MM453E44

Programa: PCAR31191047164

Licencia: 47164T31629

Origen

Propietario

Nombres y Apellidos: CHONGO SALAZAR TEOFILO AQUILLO
Razón Social: CHONGO SALAZAR TEOFILO AQUILLO
R.U.C.: 1500323991

Ejecutor

Nombres y Apellidos: AZOGUE GUAMAN JUAN WILFRIDO
Razón Social: AZOGUE GUAMAN JUAN WILFRIDO
R.U.C.: 0201065661

Ubicación

Provincia: ORELLANA
Cantón: LORETO
Parroquia: AVILA
Sitio: ISHPANO

Destino

Industria Forestal

Nombre Sucursal: - Sucursal - 4
Razón Social: VEGA PEREZ VEGAPE CIA. LTDA.
R.U.C.: 1791410904001
Dirección: AV. OSWALDO GUAYASAMIN y CALLE N4A - A
UNA CUADRA DEL SEMAFORO LA MORITA
Teléfono:
Provincia: PICHINCHA
Cantón: QUITO
Parroquia: TUMBACO

Datos Vehículo:

Color Vehículo: BLANCO
Placa Vehículo: IAK0492
Marca de Vehículo: HINO
Tipo de Vehículo: Camión

Valida desde: 06/09/2015 21:00 hasta 07/09/2015 21:00 tiempo en horas 24

DETALLE DE PRODUCTOS INGRESADOS

PRODUCTO	COD. ESPECIE	NOMBRE COMUN	LARGO	DIAM./ESPESOR	ANCHO	UNIDADES	VOL. APROVECHADO	VOL. MOVILIZADO
Aserrada/Tablones	36841	COLORADO PRIETO, COLORADO FINO (Guarea macrophylla)	2.4	0.05	0.25	90	5.4	2.7
Aserrada/Tablones	36841	COLORADO PRIETO, COLORADO FINO (Guarea macrophylla)	2.4	0.05	0.20	23	1.1	0.55
Aserrada/Tablones	36841	COLORADO PRIETO, COLORADO FINO (Guarea macrophylla)	2.4	0.05	0.15	42	1.51	0.76
Aserrada/Tablones	36840	COLORADO MANZANO, COLORADO, TUCUTA, CHIALDE GRANDE, PIASTE, MANZANO, YANSAO, BOMBONE, COCO DE CANA (Guarea kunthiana)	2.4	0.05	0.25	272	16.32	8.16
Aserrada/Tablones	36840	COLORADO MANZANO, COLORADO, TUCUTA, CHIALDE GRANDE, PIASTE, MANZANO, YANSAO, BOMBONE, COCO DE CANA (Guarea kunthiana)	2.4	0.05	0.15	15	0.54	0.27
Aserrada/Tablones	36840	COLORADO MANZANO, COLORADO, TUCUTA, CHIALDE GRANDE, PIASTE, MANZANO, YANSAO, BOMBONE, COCO DE CANA (Guarea kunthiana)	2.4	0.05	0.20	11	0.53	0.26
Aserrada/Tablones	0	TAMBURO, LAGUNO, BELLA MARIA, GOMO, JUAN COLORADO (Vochysia spp.)	2.4	0.05	0.25	88	5.28	2.64
Aserrada/Tablones	0	TAMBURO, LAGUNO, BELLA MARIA, GOMO, JUAN COLORADO (Vochysia spp.)	2.4	0.05	0.20	14	0.87	0.34
							TOTAL APROVECHADO	15.63

Declaro que los datos en esta guía son veraces y en caso contrario, asumo las responsabilidades legales conforme a los



Ministerio del Ambiente



643333463554

Programa: PMFEP21283045177

Licencia: 45177T30070

Origen

Propietario

Nombres y Apellidos: FUNDACION SUSAN SHEPPARD
Razón Social: FUNDACION SUSAN SHEPPARD
R.U.C.: 1791977823001

Ejecutor

Nombres y Apellidos: CRESPO WHITNEY JASON
Razón Social: CRESPO WHITNEY JASON
R.U.C.: 1709618209

Ubicación

Provincia: SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS
Cantón: LA CONCORDIA
Parroquia: LA CONCORDIA
Sitio: KM 40 VIA SANTO DOMINGO LA CONCORDIA

Destino

Industria Forestal

Nombre Sucursal: - Sucursal - 4
Razón Social: VEGA PEREZ VEGAPE CIA. LTDA.
R.U.C.: 1791410904001
Dirección: AV. OSWALDO GUAYASAMIN y CALLE N4A - A UNA CUADRA DEL SEMAFORO LA MORTA
Teléfono:
Provincia: PICHINCHA
Cantón: QUITO
Parroquia: TUMBACO

Datos Vehículo:

Color Vehículo: BLANCO
Placa Vehículo: PEX5937
Marca de Vehículo: HINO
Tipo de Vehículo: Camión

Valida desde: 06/09/2015 23:00 hasta 07/09/2015 12:00 tiempo en horas 13

DETALLE DE PRODUCTOS INGRESADOS

PRODUCTO	COD. ESPECIE	NOMBRE COMUN	LARGO	DIAM./ESPESOR	ANCHO	UNIDADES	VOL. APROVECHADO	VOL. MOVILIZADO
Aserrado/Talones	14412	LAUREL LAUREL COSTENO, ARASA CASTA, CHAQUINE (Cordia alliodora)	2.40	8.00	9.25	653	47.62	23.51
TOTAL MOVILIZADO								23.51

Declaro que los datos en esta guía se apegan a la verdad y en caso contrario, asumo las responsabilidades legales conforme a los artículos 78 y 94 de la Codificación de la Ley Forestal y Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.

CRESPO WHITNEY JASON - 1709618209



PUESTO FIJO DE CONTROL FORESTAL Y VIDA SILVESTRE TANDAPI - PICHINCHA

ORIGINAL FIEL COPIA

FECHA: 07/09/2015 HORA: 04:16 PLACA: PEX5937

NOMBRE DEL CONDUCTOR: Rivera Rodrigo

INSPECTOR FORESTAL: Alulima

FIRMA INSPECTOR FORESTAL: [Firma]



Anexo 4 Informe de resultados de densidad aparente en (g/ml) emitido por DPEC Universidad Central del Ecuador.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Referencia: OT-15-09-25-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Sr. Juan Sebastián Arroyo
Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: PINO (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: Cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2015-09-30
Código de la muestra: OE-15-09-25-A-2
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-01

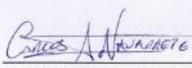
Informe No: 15-09-25-A-2
 Fecha: 2015-10-01

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)
DENSIDAD APARENTE*	g/ml	Método Interno	0,048	-

Condiciones Ambientales: Humedad: 40%; Temperatura: 21°C

Realizado Por: VRT

Revisado Por:




Ing. Carlos Navarrete T.
RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:



Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL USUARIO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-7

QUITO - ECUADOR

Hoja 2 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 15-09-25-A-1
Fecha: 2015-10-01

Referencia: OT-15-09-25-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Sr. Juan Sebastián Arroyo
Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: SOLIDO
Identificación de la muestra: EUCALIPTO (31-08-2015)
Descripción de la muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: Cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2015-09-30
Código de la muestra: OE-15-09-25-A-1
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-01

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre $U = \pm (K=2)$
DENSIDAD APARENTE*	g/ml	Método Interno	0,102	-

Condiciones Ambientales: Humedad: 40%; Temperatura: 21°C

Realizado Por: VRT

Revisado Por:

Ing. Carlos Navarrete T.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
QUITO - ECUADOR

E-mail: fjq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-7

Hoja 1 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 15-09-25-A-4
 Fecha: 2015-10-01

Referencia: OT-15-09-25-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Sr. Juan Sebastián Arroyo
Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: COLORADO (31-08-2015)
Descripción de la muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: Cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2015-09-30
Código de la muestra: OE-15-09-25-A-4
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-01

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre U=± (K=2)
DENSIDAD APARENTE*	g/ml	Método Interno	0,161	-

Condiciones Ambientales: Humedad: 40%; Temperatura: 21°C

Realizado Por: VRT

Revisado Por:

Ing. Carlos Navarrete T.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Gherr Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-7

Hoja 4 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
SUELOS

Informe No: 15-09-25-A-3
Fecha: 2015-10-01

Referencia: OT-15-09-25-A
Empresa: PARTICULAR
Atención: Sr. Juan Sebastián Arroyo
Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis fisicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: LAUREL (31-08-2015)
Descripción de la muestra: Sin descripción específica
Muestra tomada por: Cliente
Fecha de ingreso de muestra: 2015-09-30
Código de la muestra: OE-15-09-25-A-3
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-01

DETERMINACION	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO	Incertidumbre $U = \pm (K=2)$
DENSIDAD APARENTE*	g/ml	Método Interno	0,066	-

Condiciones Ambientales: Humedad: 40%; Temperatura: 21°C

Realizado Por: VRT

Revisado Por:

Ing. Carlos Navarrete T.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Germán Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-A01-7

Hoja 3 de 4

**Anexo 5 Informe de resultados de porcentaje de cenizas emitido por DPEC
Universidad Central del Ecuador.**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN

**INFORME DE RESULTADOS
PETRÓLEO**



Informe N° 15-09-13-P-2
Fecha 2015-10-07

Referencia: OT-15-09-13-P
Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Victor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: PINO (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-30
Muestra tomada por: EL CLIENTE
Código de muestra: OE-15-09-13-P-2
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-07

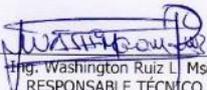
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
CENZAS*	%P	ASTM D-482	0,3169

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 542,3 mm Hg; Temperatura: 21,5 °C

Realizado por: VRT

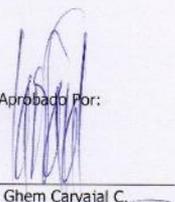
Revisado Por:



Ing. Washington Ruiz L. Msc.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:



Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-6 Hoja 2 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 15-09-13-P-1
Fecha 2015-10-07

Referencia: OT-15-09-13-P
Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: EUCALIPTO (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-30
Muestra tomada por: EL CLIENTE
Código de muestra: OE-15-09-13-P-1
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-07

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
CENIZAS*	%P	ASTM D-462	0,3724

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 542,3 mm Hg; Temperatura: 21,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Aprobado Por:

Ing. Washington Ruiz, Msc.
RESPONSABLE TÉCNICO



Ing. Ghem Carvajal C.
DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: fig.secretaria@dpec@uce.edu.ec
QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-6

Hoja 1 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
 PETROLEO

Informe N° 15-09-13-P-4
 Fecha 2015-10-07

Referencia: OT-15-09-13-P
 Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
 Empresa: PARTICULAR
 Dirección: Víctor Mideros y de los Algarrobos
 Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
 Tipo de muestra: SÓLIDO
 Identificación de la muestra: COLORADO (31-08-2015)
 Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
 Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-30
 Muestra tomada por: EL CLIENTE
 Código de muestra: OE-15-09-13-P-4
 Fecha de realización de ensayos: 2015-10-07

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
CENIZAS*	%P	ASTM D-482	1,2061

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 542,3 mm Hg; Temperatura: 21,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Ing. Washington Ruiz L., Msc.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-6

Hoja 4 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS
 PETROLEO**

Informe N° 15-09-13-P-3
 Fecha 2015-10-07

Referencia: OT-15-09-13-P
Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Victor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: LAUREL (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-30
Muestra tomada por: EL CLIENTE
Código de muestra: OE-15-09-13-P-3
Fecha de realización de ensayos: 2015-10-07

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
CENIZAS*	%P	ASTM D-482	1,5375

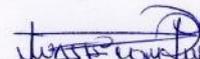
Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 542,3 mm Hg; Temperatura: 21,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Aprobado Por:


 Ing. Washington Ruiz I. MSc.
 RESPONSABLE TÉCNICO




 Ing. Ghern Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
 QUITO - ECUADOR

E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 3 de 4

Anexo 6 Informe de resultados de poder calorífico bruto en (MJ/Kg) emitido por DPEC Universidad Central del Ecuador.



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 15-09-02-P-2
 Fecha 2015-09-08

Referencia:
Atención:
Empresa:
Dirección:
Tipo de ensayos:
Tipo de muestra:
Identificación de la muestra:
Descripción de la Muestra:
Fecha de ingreso de la muestra:
Muestra tomada por:
Código de muestra:
Fecha de realización de ensayos:

OT-15-09-02-P
 Ing. Juan Sebastián Arroyo
PARTICULAR
 Víctor Mideros y de los Algarrobos
 Análisis Físicoquímicos
 SÓLIDO
 PINO (31-08-2015)
 Sin descripción específica
 2015-09-03
 EL CLIENTE
 OE-15-09-02-P-2
 2015-09-07

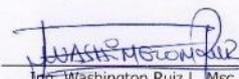
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-240	17,3861

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 mm Hg; Temperatura: 20,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:



Ing. Washington Ruiz L. Msc.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:



Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676

E-mail: dpec@iuce.edu.ec

MC2201-P01-6 Hoja 2 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
 PETROLEO

Informe N° 15-09-02-P-1
 Fecha 2015-09-08

Referencia: OT-15-09-02-P
 Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
 Empresa: PARTICULAR
 Dirección: Victor Mideros y de los Algarrobos
 Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
 Tipo de muestra: SÓLIDO
 Identificación de la muestra: EUCALIPTO (31-08-2015)
 Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
 Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-03
 Muestra tomada por: EL CLIENTE
 Código de muestra: OE-15-09-02-P-1
 Fecha de realización de ensayos: 2015-09-07

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-240	17,2571

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 mm Hg; Temperatura: 20,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Ing. Washington Ruiz L. Msc.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
 QUITO - ECUADOR

E-mail: dpec@iuce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 1 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



**INFORME DE RESULTADOS
 PETROLEO**

Informe N° 15-09-02-P-4
 Fecha 2015-09-08

Referencia: OT-15-09-02-P
Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Victor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: COLORADO (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-03
Muestra tomada por: EL CLIENTE
Código de muestra: OE-15-09-02-P-4
Fecha de realización de ensayos: 2015-09-07

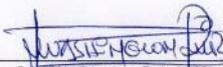
DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-240	18,0667

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 mm Hg; Temperatura: 20,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:


 Ing. Washington Ruiz L. Msc.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:


 Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
 QUITO - ECUADOR

E-mail: dpec@iuce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 4 de 4



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 15-09-02-P-3
 Fecha 2015-09-08

Referencia: OT-15-09-02-P
Atención: Ing. Juan Sebastián Arroyo
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Victor Mideros y de los Algarrobos
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: SÓLIDO
Identificación de la muestra: LAUREL (31-08-2015)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2015-09-03
Muestra tomada por: EL CLIENTE
Código de muestra: OE-15-09-02-P-3
Fecha de realización de ensayos: 2015-09-07

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-240	18,4990

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,0 mm Hg; Temperatura: 20,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

Aprobado Por:

Ing. Washington Ruiz L. Msc.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676
 QUITO - ECUADOR

E-mail: dpec@lquce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 3 de 4

Anexo 7 Certificado emitido por el Jefe de Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional. Ensayo poder calorífico bruto.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y AGROINDUSTRIAL
Campus Politécnico "José Rubén Orellana"

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

CERTIFICADO

Quito, 16 de septiembre del 2015

Por medio de la presente certifico que el Sr. Juan Sebastián Arroyo Vinueza ha realizado los análisis de poder calorífico bruto de biocombustible sólidos en el Laboratorio de Termodinámica de la Escuela Politécnica Nacional

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta que parece decir "Sebastián Taco Vázquez".

Sebastián Taco Vázquez, PhD

Jefe del Laboratorio de Termodinámica

Anexo 8 Certificado emitido por el Jefe de Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional. Ensayo de humedad.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y AGROINDUSTRIAL
Campus Politécnico "José Rubén Orellana"

LABORATORIO DE TERMODINÁMICA

CERTIFICADO

Quito, 3 de septiembre del 2015

Por medio de la presente certifico que el Sr. Juan Sebastián Arroyo Vinuesa ha realizado los análisis de humedad de muestras de madera en el Laboratorio de Termodinámica de la Escuela Politécnica Nacional

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Sebastián Taco Vásquez".

Sebastián Taco Vásquez, PhD
Jefe del Laboratorio de Termodinámica

Anexo 9 Fotografías de ensayos.

Ensayo de humedad.

Muestras de biomasa.



Crisol de 60 ml con muestras de cada tipo de biomasa.



Peso de muestra en balanza analítica.

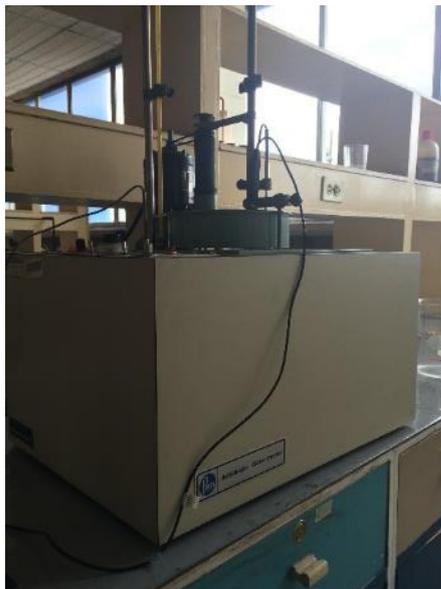


Estufa eléctrica de POL-EKO con termorregulador para secado de biomasa.

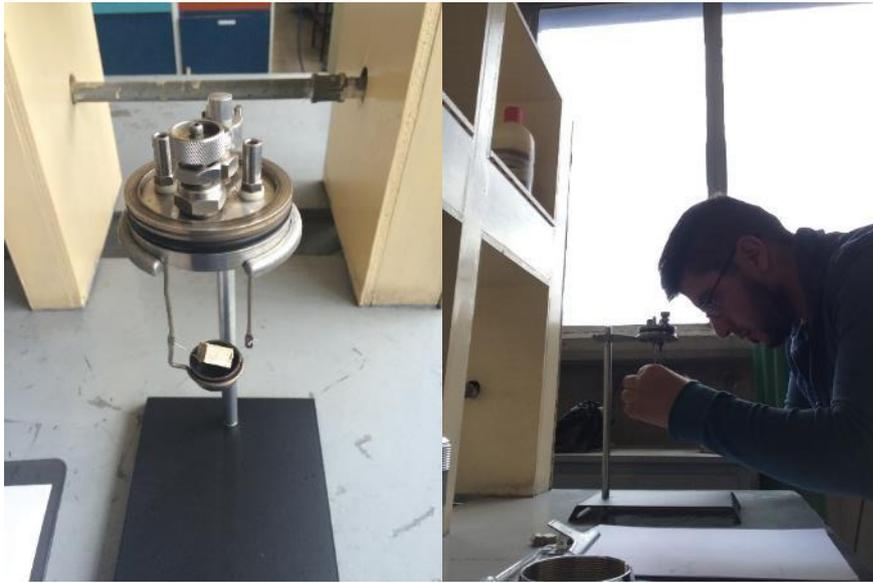


Ensayo de poder calorífico bruto.

Calorímetro adiabático marca Parr modelo 1241.



Colocación de muestra de biomasa en cápsula de combustión.



Preparación de bomba de oxígeno.



Accionamiento y monitoreo de incremento de temperatura mediante termocupla.



Resultado de combustión de muestra de biomasa.

