



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO DE *Eucalyptus globulus* Y  
*Piptocoma discolor* PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN EN EL  
CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA FORESTAL**

**AUTORA:**

**PILAR CRISTINA GODOY VALDIVIEZO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO DE *Eucalyptus globulus* Y  
*Piptocoma discolor* PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN EN EL  
CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA FORESTAL**

**AUTORA:** PILAR CRISTINA GODOY VALDIVIEZO

**DIRECTOR:** Ing. EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTAÑEDA MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Pilar Cristina Godoy Valdiviezo**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, PILAR CRISTINA GODOY VALDIVIEZO, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de integración curricular: el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de febrero de 2022




**Pilar Cristina Godoy Valdiviezo**  
**060548356-9**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**

**CARRERA INGENIERÍA FORESTAL**

El Tribunal del trabajo de integración curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular:  
Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DEL PODER CALORÍFICO DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor* PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN EN EL CANTÓN GUANO, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por la señorita: PILAR CRISTINA GODOY VALDIVIEZO. Ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Norma Ximena Lara Vasconez Msc <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>NORMA XIMENA LARA VASCONEZ</b>	11 de febrero del 2022
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda MsC <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTANEDA</b>	11 de febrero del 2022
Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva MsC <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MIGUEL ANGEL GUALPA CALVA</b>	11 de febrero del 2022

## **DEDICATORIA**

Dedico a Dios quien me ha guiado y dado fortaleza para seguir adelante, a mis padres Raúl e Inés por su amor, sacrificio, valores y apoyo incondicional de superación a los retos que nos presenta la vida. A mis hermanos y sobrino por su motivación, cariño y por estar en los momentos más felices de mi vida.

Pilar

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud, sabiduría y fortaleza para lograr mis metas. A mis padres mis pilares fundamentales, por su apoyo y comprensión por haber confiado en mis capacidades y habilidades, a mis hermanos gracias por todas las palabras de aliento y ánimo que recibí en todo momento, a Henry por el apoyo incondicional brindado en cada momento.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por abrirme las puertas y de forma principal a la Escuela De Ingeniería Forestal por darme todos los conocimientos requeridos para ser una buena profesional. A los docentes de la Escuela de Ingeniería Forestal por haber compartido sus conocimientos y experiencias a lo largo de la preparación de mi carrera.

Mi gratitud al Ing. Eduardo Salazar, Ing. Miguel Guallpa por su tiempo, conocimientos y paciencia para la ejecución del presente trabajo y ganas para ayudarme a formar profesionalmente.

El más sincero agradecimiento al Ing. Manuel Espinoza, Ing Jorge Caranqui por su apoyo incondicional, paciencia, conocimientos impartidos y sus sabios consejos.

Y como no estar agradecida con mis amigos y amigas que he formado en el transcurso de la vida que han sido parte de mis triunfos y fracasos por haber formado parte fundamental de esta investigación Gabriela, Yomara, Maximiliano y Blanca.

Pilar

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRAC.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Poder Calorífico.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Poder Calorífico Superior .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Carbón Vegetal.....</b>	<b>5</b>
<i>1.3.1 Propiedades del Carbón .....</i>	<i>5</i>
<b>1.4 Materia Prima .....</b>	<b>7</b>
<i>1.4.1 Madera .....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.2 Biomasa .....</i>	<i>7</i>
<i>1.4.3 Biocombustible .....</i>	<i>8</i>
<i>1.4.4 Dendrocombustible.....</i>	<i>8</i>
<b>1.5 Dendroenergía .....</b>	<b>8</b>
<i>1.5.1 Leña .....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.2 Carbón Vegetal .....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.3 Briquetas de carbón vegetal.....</i>	<i>9</i>
<b>1.6 Carbonización o Pirólisis.....</b>	<b>9</b>
<b>1.7 Factores que influyen en la elaboración y calidad del carbón vegetal.....</b>	<b>10</b>
<i>1.7.1 Contenido de humedad.....</i>	<i>10</i>
<i>1.7.2 Densidad .....</i>	<i>10</i>
<i>1.7.3 Rendimientos .....</i>	<i>10</i>
<b>1.8 Tipos de Hornos.....</b>	<b>11</b>
<i>1.8.1 Método de parva o montículo.....</i>	<i>11</i>
<i>1.8.2 Horno tipo fosa.....</i>	<i>11</i>



1.8.3	<i>Horno tipo colmena brasileño</i> .....	12
1.9	<b>Descripción de las especies</b> .....	12
1.9.1	<i>Eucalyptus globulus Labill.</i> .....	12
1.9.2	<i>Piptocoma discolor</i> .....	12

## CAPITULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	14
2.1.	<b>Lugar de la investigación</b> .....	14
2.1.1.	<i>Lugar de elaboración del carbón vegetal</i> .....	14
2.1.2.	<i>Recolección del material vegetal</i> .....	14
2.2.	<b>Materiales y equipos</b> .....	15
2.2.1.	<i>Materiales de campo</i> .....	15
2.2.2.	<i>Materiales de laboratorio</i> .....	15
2.2.3.	<i>Materiales de oficina</i> .....	15
2.2.4.	<i>Equipos</i> .....	15
2.3.	<b>Metodología</b> .....	16
2.3.1.	<i>Análisis estadístico</i> .....	16
2.3.1.	<i>Para la ejecución del primer objetivo; Determinar el contenido de humedad y densidad de Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor</i> .....	16
2.3.2.	<i>Para la ejecución del segundo objetivo: Calcular el Poder Calorífico Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor a partir de la madera</i> .....	18
2.3.3.	<i>Para la ejecución del tercer objetivo: Calcular el Poder Calorífico Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor a partir del carbón</i> .....	22

## CAPITULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	28
3.1	<b>Humedad y Densidad a partir de la madera de Eucalyptus globulus y Piptocoma discolor</b> .....	28
3.1.1.	<i>Densidad en verde</i> .....	28

3.1.2. <i>Análisis estadístico densidad en verde</i> .....	28
3.1.3. <i>Densidad en seco</i> .....	29
3.1.4. <i>Humedad de la madera</i> .....	29
3.2 Poder Calorífico de <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Piptocoma discolor</i> a partir de la madera .....	30
3.2.1. <i>Análisis estadístico del poder calorífico a partir de la madera</i> .....	31
3.3 Poder Calorífico de <i>Eucalyptus globulus</i> y <i>Piptocoma discolor</i> a partir del carbón	31
3.3.1. <i>Humedad del carbón</i> .....	31
3.3.2. <i>Densidad del carbón</i> .....	32
3.3.3. <i>Poder calorífico a partir del carbón</i> .....	33
CONCLUSIONES.....	35
RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para humedad.....	16
<b>Tabla 2-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para la densidad .....	18
<b>Tabla 3-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Material Volátil.....	19
<b>Tabla 4-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Contenido de Ceniza..	20
<b>Tabla 5-2:</b>	Formato utilizado para determinar el porcentaje de Carbono fijo .....	21
<b>Tabla 6-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para humedad.....	22
<b>Tabla 7-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para la densidad del carbón...	23
<b>Tabla 8-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Material Volátil..	24
<b>Tabla 9-2:</b>	Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Contenido de Cenizas	25
<b>Tabla 10-2:</b>	Formato utilizado para determinar el porcentaje de carbono fijo .....	26
<b>Tabla 1-3:</b>	Densidad en verde de la madera .....	28
<b>Tabla 2-3:</b>	Prueba de T-Student para densidad en verde de la madera .....	28
<b>Tabla 3-3:</b>	Densidad en seco de la madera.....	29
<b>Tabla 4-3:</b>	Prueba no paramétrica, Prueba de Mann-Whitney .....	29
<b>Tabla 6-3:</b>	Humedad de la madera prueba de Mann-Whitney .....	30
<b>Tabla 7-3:</b>	Poder Calorífico de la madera .....	31
<b>Tabla 8-3:</b>	Prueba T- Student .....	31
<b>Tabla 9-3:</b>	Humedad del carbón .....	32
<b>Tabla 10-3:</b>	Prueba T.....	32
<b>Tabla 11-3:</b>	Densidad del carbón .....	32
<b>Tabla 12-3:</b>	Pruebas no paramétricas – Prueba de Mann-Whitney .....	33
<b>Tabla 13-3:</b>	Poder calorífico del carbón.....	33
<b>Tabla 14-3:</b>	Prueba t-Student poder calorífico del carbón .....	34

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE CAMPO RECOLECCION DE MADERA
- ANEXO B:** LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE LABORATORIO PREPARACION DE MATERIALES
- ANEXO C:** DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD DE LA MADERA DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor*
- ANEXO D:** DETERMINACIÓN DE EL MATERIAL VOLATIL A PARTIR DE LA MADERA
- ANEXO E:** DETERMINACIÓN DE CENIZAS A PARTIR DE LA MADERA
- ANEXO F:** DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL CARBON DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor*
- ANEXO G:** DETERMINACIÓN DEL MATERIAL VOLATIL A PARTIR DEL CARBÓN
- ANEXO H:** DETERMINACION DE CENIZAS A PARTIR DEL CARBÓN
- ANEXO I:** RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DE LA MADERA DE *Piptocoma discolor*
- ANEXO J:** RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DEL CARBÓN DE *Piptocoma discolor*
- ANEXO K:** RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DE LA MADERA DE *Eucalyptus glóbulus*
- ANEXO L:** RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DEL CARBÓN DE *Eucalyptus glóbulus*
- ANEXO M:** PRUEBA DE LEVENE PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES DENSIDAD EN VERDE MADERA
- ANEXO N:** PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK DENSIDAD EN VERDE DE LA MADERA
- ANEXO O:** PRUEBA DE SHAPIRO-WILK DENSIDAD EN SECO DE LA MADERA
- ANEXO P:** PRUEBA DE SHAPIRO-WILK CONTENIDO DE HUMEDAD MADERA
- ANEXO Q:** PRUEBA DE LEVENE IGUALDAD DE VARIANZAS PODER CALORÍFICO
- ANEXO R:** PRUEBA DE LEVENE Y SHAPIRO-WILK HUMEDAD DEL CARBÓN
- ANEXO S:** PRUEBA DE SHAPIRO-WILK DENSIDAD DEL CARBÓN
- ANEXO T:** PRUEBA DE LEVENE Y SHAPIRO-WILK PODER CALORIFICO DEL CARBÓN

## RESUMEN

El objetivo fue analizar el poder calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* para la elaboración de carbón en la Provincia de Chimborazo, se utilizó una verificación de supuestos y pruebas estadísticas para dos muestras independientes. Para el análisis de datos se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS 25.0. Las normas utilizadas fueron: El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y American Society for Testing and Materials (ASTM) Internacional. Se utilizó 5 muestras de madera por cada especie. Densidad de madera y carbón: Se tomó pesos iniciales y se registró el volumen con un calibrador digital. Humedad madera: Se registró pesos iniciales y finales, se llevó las muestras a la estufa por 24h a 105°C. Material Volátil: Se llevaron las muestras a una mufla calibrada a 900°C por 9 minutos y se registran los pesos finales. Contenido de Cenizas: Se insertaron las muestras a la mufla calibrada a 450°C por una hora, posteriormente se volvió a calibrar a 750°C por 2h, finalmente se calibro a 950°C por 2 horas hasta una incineración completa. Poder Calorífico: Se procedió a reemplazar los datos en la fórmula establecida. Los resultados obtenidos fueron: *Eucalyptus globulus* 43,88% (humedad madera), 11,43% (humedad carbón), 0,96 g/cm<sup>3</sup> (densidad madera verde), 0,82 g/c m<sup>3</sup> (densidad madera seca), 0,36 g/cm<sup>3</sup> (densidad del carbón), 1064,13 kcal/kg (poder calorífico madera), 6719,79 kcal/kg (poder calorífico carbón). *Piptocoma discolor*: 43,88% (humedad madera), 59,38% (humedad carbón), 0,85 g/cm<sup>3</sup> (densidad madera verde), 0,56 g/cm<sup>3</sup> (densidad madera verde), 0,32 g/cm<sup>3</sup> (densidad carbón), 804,61 kcal/kg (poder calorífico madera), 2604,01 kcal/kg (poder calorífico carbón). Se concluye que la mayor eficiencia de poder calorífico en kcal/kg obtuvo *Eucalyptus globulus* tanto en carbón y madera. Se recomienda realizar nuevos estudios de especies que obtienen mayor densidad en su madera y realizar comparaciones para determinar su poder calorífico tanto en madera y carbón.

**Palabras clave:** <PODER CALORÍFICO>, <MATERIAL VOLÁTIL>, <CONTENIDO DE CENIZAS>, <PIGUE (*Piptocoma discolor*)>, <MADERA>.



Firmado digitalmente por:  
CRISTHIAN  
FERNANDO  
CASTILLO RUIZ



0645-DBRA-UTP-2022

## ABSTRAC

The aim was to analyze the calorific value of *Eucalyptus globulus* and *Piptocoma discolor* for charcoal production in the Province of Chimborazo, using a verification of assumptions and statistical tests for two independent samples. The IBM-SPSS 25.0 statistical package was used for data analysis. The standards used were: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) and American Society for Testing and Materials (ASTM) International. Five wood samples were used for each specie. Wood and charcoal density: Initial weights were taken and the volume was recorded with a digital calibrator. Wood moisture: Initial and final weights were recorded and the samples were taken to the oven for 24h at 105°C. Volatile Material: Samples were taken to a muffle calibrated at 900°C for 9 minutes and the final weights were recorded. Ash content: Samples were placed in a muffle calibrated at 450°C for one hour, then calibrated again at 750°C for 2 hours, and finally calibrated at 950°C for 2 hours until complete incineration. Calorific value: The data was replaced in the established formula. The results obtained were: *Eucalyptus globulus* 43.88% (wood moisture), 11.43% (charcoal moisture), 0.96 g/cm<sup>3</sup> (green wood density), 0.82 g/c m<sup>3</sup> (dry wood density), 0.36 g/cm<sup>3</sup> (charcoal density), 1064.13 kcal/kg (wood calorific value), 6719.79 kcal/kg (charcoal calorific value). *Piptocoma discolor*: 43.88% (wood moisture), 59.38% (charcoal moisture), 0.85 g/cm<sup>3</sup> (green wood density), 0.56 g/cm<sup>3</sup> (green wood density), 0.32 g/cm<sup>3</sup> (charcoal density), 804.61 kcal/kg (wood calorific value), 2604.01 kcal/kg (charcoal calorific value). It is concluded that the highest calorific value efficiency in kcal/kg was obtained by *Eucalyptus globulus* in both charcoal and wood. It is recommended to carry out new studies of species that obtain higher density in their wood and to make comparisons to determine their calorific value in both wood and charcoal.

**Key words:** <CALORIFIC POWER>, <VOLATILE MATTER>, <ASH CONSISTENCE>, <PIGUE (*Piptocoma discolor*)>, <WOOD>.



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se determinó el poder calorífico de la madera y del carbón ya elaborado de dos especies forestales. Este proyecto surge debido a la escasa información de dicho análisis en el cual se conocerá y se mencionará todas las fases de análisis del poder calorífico de las especies de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*.

Se considera que el sesenta por ciento de toda la madera extraída en el mundo, se quema como combustible, sea directamente, o transformándola en carbón vegetal. La proporción de leña utilizada para la fabricación de carbón vegetal puede estimarse, alrededor del 25 por ciento de la cantidad anteriormente mencionada, esto quiere decir cerca de 400 millones de metros cúbicos por año. (Booth H.E.,1974) Citado por (Rosero y Cabrera 2014,pp. 3).

El carbón vegetal, en los países en desarrollo, se usa principalmente como combustible doméstico, para cocinar y calefacción, pero es también un importante combustible industrial. Grandes cantidades se emplean en fundiciones y forjas; en la extracción y refinado de metales especialmente de hierro, y en otras numerosas aplicaciones metalúrgicas y químicas. Para los países en vía de desarrollo, abundantemente dotados de bosques, la exportación de carbón vegetal puede ser una industria provechosa. (Trossero, M.A, 1978) Citado por (Rosero y Cabrera 2014,p. 3).

La disponibilidad energética de las diferentes fuentes de energía renovable (hidroeléctrica, eólica, solar, biomasa, etc. Son mayores que las fuentes de energía convencionales (petróleo, gas, carbón, etc.); sin embargo, la utilización de las energías renovables es escasa. El desarrollo de la tecnología, el incremento de la exigencia social y los costos más bajos de instalación y rápida amortización, han impulsado un mayor uso de las fuentes de energía de origen renovable en los últimos años. (Guzmán, 2010) Citado por (Rica 2012,p.11).

Esta investigación no será fácil y directamente accesible para las masas de productores, distribuidores y usuarios minoristas porque, en general, no actualizan sus conocimientos de nuevos y mejores métodos con libros, sino por experiencia práctica. Este conocimiento debería estar disponible para ellos, a través de organizaciones gubernamentales o proyectos.

## **PROBLEMA**

Actualmente en el Ecuador existe escasa información acerca del proceso de producción y análisis del poder calorífico de carbón vegetal, llegando a establecerse que el principal problema que enfrenta la cadena productiva del carbón son los bajos rendimientos en la carbonización, que se refleja en altos costos de producción y poca eficiencia en el uso de los recursos en su fabricación. Por esta razón por medio de la presente investigación se plantea determinar el proceso de producción de carbón y su poder calorífico del mismo en el cual se aportará información técnico-científica.

## **JUSTIFICACIÓN**

El Ecuador al ser un país no desarrollado industrialmente tiene poco conocimiento e insuficiente información sobre el análisis del poder calorífico o eficiencia calorífica de algunas especies forestales de gran importancia, por lo que no se realiza un correcto aprovechamiento de la variedad de especies que se encuentran dentro de nuestro país, por lo que se debe desarrollar nuevas investigaciones sobre los avances tecnológicos y taxonómicos que presenta la madera para sus diferentes fines de aprovechamiento, en este caso contribuir con la investigación de su poder calorífico de las especies propuestas ya que constituyen una fuente de ingresos muy importante.

La presente investigación pretende brindar una cantidad muy importante de información sobre el análisis de su poder calorífico utilizando la merma, biomasa o residuos forestales de las especies estudiadas, con ellos fomentar un buen aprovechamiento de la biomasa de las especies forestales existentes en nuestro país.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el poder calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* para la elaboración de carbón en el cantón guano, Provincia de Chimborazo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el contenido de humedad y densidad de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*.
- Calcular el Poder Calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir de la madera.
- Calcular el Poder Calorífico del carbón ya elaborado de las especies en estudio.

## **HIPOTESIS**

### **HIPÓTESIS NULA**

No existe diferencias significativas en la eficiencia del poder calorífico de la madera y carbón de las dos especies estudiadas.

### **HIPÓTESIS ALTERNANTE**

Existe diferencias significativas en la eficiencia del poder calorífico de la madera y carbón de las dos especies estudiadas.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Poder Calorífico

El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de materia puede emitir cuando pasa por una reacción química de oxidación, donde expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y un comburente (Toala, 2010, p. 24).

Está definido como la cantidad de energía transmitida al medio exterior en forma de calor por la combustión de 1 kg de combustible si es sólido o líquido o un m<sup>3</sup> si es un gas (Cruz y Simon, 2019, p. 19).

El poder calorífico es la cantidad de calor que puede obtenerse por combustión de la cantidad unitaria del material y se expresa generalmente en Kcal/Kg. Así mismo se puede definir como la cantidad de energía que desprende por unidad de masa un combustible al quemarse. Las especies con mayor contenido de lignina, extractivos y de alta densidad poseen un poder calorífico más elevado que las especies de maderas con mayor contenido de celulosa. Así mismo el poder calorífico aumenta a medida que se incrementa la edad del árbol (Cruz y Simon 2019, p. 14).

Es una cierta cantidad de energía que se separa cuando existe una reacción de combustión. Así, “el poder calorífico es la característica fundamental de un combustible el cual lo define como tal, se sabe que el poderío del calor nos va a indicar que si son buenos o tal vez malos combustibles; cabe recalcar que el poder calorífico depende única y esencialmente de la composición química del comburente. Para el caso de las briquetas, el poderío está en función al material del cual va a estar formado o fabricado. Si suponemos que las briquetas de carbón están conformadas de madera sin ningún tipo de aditivos; entonces esto nos quiere decir que su poder calorífico será igual al tipo de madera que la conforma” (Samamé, 2017, p. 20).

### 1.2 Poder Calorífico Superior

Para determinar el poder calorífico existen dos métodos (método directo e indirecto). El método directo se determina utilizando una bomba calorimétrica y el método indirecto se calcula a partir del análisis químico.(Cruz y Simon 2019, p. 14).

### **1.3 Carbón Vegetal**

Carbón vegetal es el producto que se obtiene de la carbonización de la madera, en condiciones controladas en un horno de carbón. Durante el proceso de carbonización se controla la entrada del aire para que la madera no se quemé, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal. El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso, con un alto contenido de carbono (del orden del 80 %). Se produce por el calentamiento de la madera en ausencia de aire (hasta temperaturas de 400 a 700 °C). La capacidad de producir calor del carbón es mayor que la de la madera original (CONAF, 2010, pp. 1-2).

El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso que contiene un alto porcentaje de carbono de un orden del 80%, este es producido por el calentamiento de la madera o residuos de vegetales en ausencia de aire, la temperatura con la cual se forma el carbón se encuentra entre 400 °C a 700 °C, este proceso se denomina pirolisis o carbonización, en dicho proceso se obtienen gases y aceites que son producidos por el calentamiento del material vegetal (Casas,2014, p. 11).

El carbón vegetal, en los países en desarrollo, se usa principalmente como un importante combustible industrial. Grandes cantidades se emplean en fundiciones y forja; en la extracción y refinado de metales especialmente de hierro, y en otras numerosas aplicaciones metalúrgicas y químicas.(Casas, 2014, p. 11).

Se estima que el 60% de toda la madera extraída en el mundo, se quemá como combustible, ya sea directamente, o transformándola en carbón vegetal. La proporción de leña utilizada para la fabricación de carbón vegetal puede solo estimarse, siendo alrededor del 25% de la cantidad arriba mencionada, o sea cerca de 400 millones de metros cúbicos por año. El carbón vegetal es una fuente de energía renovable. No obstante, la producción de carbón vegetal por métodos artesanales tiene un importante impacto ambiental que es necesario disminuir mediante el uso de métodos industriales con control de emisiones. (Casas, 2014, p. 11).

#### ***1.3.1 Propiedades del Carbón***

El criterio de clasificación para que el carbón sea de buena calidad dependerá para que aplicación, utilización vaya destinado dicho carbón o producto.

##### ***1.3.1.1 Propiedades Mecánicas***

Entre las propiedades mecánicas tenemos: Según(Casas,2014, pp. 12-13), son:

**DUREZA.** Se mide por el tamaño y profundidad de la raya producida por un cuerpo penetrante de forma diversa (cono, esfera, pirámide) y con dureza extrema. Teniendo en cuenta esta propiedad, la antracita se comporta como un cuerpo totalmente elástico, es decir, no es rayado. Los carbones que contienen del orden de 80-85% de carbono muestran un máximo de dureza Vickers que se corresponde con un máximo también en la curva de dureza elástica.

**ABRASIVIDAD.** Es la capacidad del carbón para desgastar elementos metálicos en contacto con él. Esta propiedad nos va a condicionar enormemente el material que se tenga que usar en la 12 maquinaria (molinos, trituradoras, etc.). Está relacionada con las impurezas que acompañan al carbón: sílice y pirita, sobre todo.

**COHESIÓN.** La cohesión es la acción y efecto que tiende a unir los componentes de la materia carbonosa. Se trata de una propiedad positiva o de resistencia.

**FRIABILIDAD.** Es la capacidad que presentan los carbones de descomponerse fácilmente en granulometrías inferiores por efecto de un impacto o un rozamiento. Esta propiedad habrá que tenerla muy en cuenta en algunos procesos, puesto que nos da la tendencia del carbón a romperse durante su manipulación.

**FRAGILIDAD.** Es la facilidad que presentan los carbones para romperse o quebrarse en pedazos. Es lo opuesto a la cohesión. Se trata de una propiedad negativa, que va a depender de su tenacidad y elasticidad, de las características de su fractura y de su resistencia.

#### *1.3.1.2 Propiedades Físicas*

Entre las propiedades físicas tenemos: Según (Casas, 2014, pp. 12-13), son:

**DENSIDAD.** La densidad del carbón no es más que la relación entre su masa y el volumen desplazado de este.

**PESO ESPECÍFICO.** Es el peso contenido en la unidad de volumen de un trozo de carbón en su estado natural (poros, humedad y materia mineral incluida).

**CONTENIDO EN AGUA.** El carbón contiene agua tanto por su proceso de formación en origen como por las transformaciones sufridas. En el carbón el agua se presenta de 3 diferentes formas: Agua de hidratación, agua de imbibición y agua ocluida.

**CONTENIDO DE CENIZAS.** Es la cantidad de ceniza que queda del carbón después de pasar por el proceso de combustión y quemarse en su totalidad.

**CONTENIDO DE VOLÁTILES Y CARBÓN FIJO.** Esta propiedad se puede definir como la cantidad de combustible que el carbón posee, entre más alto el contenido de volátiles y carbón fijo más combustible tiene el carbón para quemar.

**HUMEDAD SUPERFICIAL.** Es la humedad que el carbón gana gracias al medio circundante.

**HUMEDAD RESIDUAL.** Es la humedad que tiene el carbón después de ser secado por convección por medio de una fuente de calor.

## **1.4 Materia Prima**

### **1.4.1 Madera**

La madera se puede definir como el conjunto de tejidos que se encuentran hacia la parte interna de la corteza. Específicamente es la zona comprendida entre la médula y el cambium vascular y en la misma se cumplen diversas funciones: conducción de agua y sales minerales absorbidas por la raíz, soporte o resistencia mecánica y almacenamiento de sustancias alimenticias (León y Espinoza 2001, p. 7).

(Casas Villanueva 2014, p. 40), afirma que, los productores de carbón se proveen de materia prima de sus propias chacras, ya sea mediante el rozo o saca total de madera de lo que ellos denominan monte real o chacra; para la posterior instalación de cultivos agrícolas; en algunos casos también compran árboles.

### **1.4.2 Biomasa**

La biomasa es la materia orgánica formada de cualquier proceso biológico o provocado, ya sea de origen vegetal o animal y puede ser utilizada como fuente de energía. En las plantas, durante el proceso de fotosíntesis, se almacena la energía solar en la clorofila al transformar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire y el agua del suelo en carbohidratos. (Encinas 2007, p. 11).

El uso de la biomasa como combustible data desde tiempos en que el hombre aprendió a manejar el fuego, quizás el uso más antiguo fue en las primeras hogueras en las cuevas donde vivían nuestros antepasados (Bustamante García 2011, p. 12).

Con el paso del tiempo en Egipto, se perfeccionó los sistemas de producción de biomasa leñosa y el uso progresivo del carbón vegetal constituyó la base energética de las antiguas civilizaciones. Posteriormente, con el desarrollo industrial, la fundición de metales y los motores de combustión interna su utilización disminuyó al ser sustituida por el carbón mineral y el petróleo. Actualmente, en algunos países la biomasa es la principal fuente de energía y a nivel mundial se considera una forma moderna y limpia de obtener energía (Patiño y Smith 2008, p. 5)

Las fuentes más importantes de biomasa pueden ser los residuos agrícolas, árboles muertos, podas, aprovechamientos forestales, árboles obtenidos durante el cambio de uso de suelo, huertos, cultivos de sistemas agroforestales (Herguedas, Rodríguez y Paniagua 2012, p. 212).

### ***1.4.3 Biocombustible***

Biocombustible es el término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado de un proceso de conversión fotosintético; la energía de la biomasa deriva del material vegetal y animal, como la madera de los bosques, los residuos de procesos agrícolas y forestales, de la basura industrial, humana o animal

### ***1.4.4 Dendrocombustible***

Los dendrocombustibles son todos los tipos de biocombustibles derivados directa o indirectamente de una biomasa leñosa. En esta categoría se incluyen todos los tipos de biocombustibles derivados de los árboles y arbustos que crecen en tierras forestales y no forestales. Entre los combustibles de madera se incluye también la biomasa obtenida en actividades silvícolas (aclareos, podas y otros) y actividades de extracción y explotación (puntas, raíces, ramas, etcétera), así como subproductos industriales derivados de industrias forestales primarias y secundarias. También se incluyen los combustibles de madera derivados de plantaciones forestales con fines energético (FAO, 2004, p. 13).

## **1.5 Dendroenergía**

La dendroenergía hace referencia a la energía obtenida de dendrocombustibles (FAO, 2004, p. 14).

### ***1.5.1 Leña***

Incluye la madera en bruto en piezas pequeñas (leña), astillas, pellets y/o polvos derivados de los

bosques y árboles aislados, así como los subproductos de la industria de la madera y los productos leñosos recuperados. Conservan la estructura original básica de la madera y se pueden utilizar directamente o después de haber sido transformados en otro combustible de madera como el carbón vegetal. Cuando es necesario, la leña se puede preparar en productos más adecuados como, por ejemplo, astillas y pellets, sin necesidad de realizar transformaciones fisicoquímicas importantes (FAO, 2004, p. 15).

### ***1.5.2 Carbón Vegetal***

Residuo sólido derivado de la carbonización, destilación, pirolisis y torrefacción de la madera y de subproductos de la madera al utilizar sistemas continuos o discontinuos (hornos de pozo, ladrillo y metal). Incluye las briquetas de carbón vegetal (FAO, 2004, p. 16).

### ***1.5.3 Briquetas de carbón vegetal***

Producidas con carbón vegetal que, una vez triturado y secado, se moldea (generalmente a alta presión) con la adición de aglutinantes para formar piezas uniformes.

## **1.6 Carbonización o Pirólisis**

En este proceso se realiza una transformación térmica de la materia orgánica por la acción del calor en ausencia de oxígeno. En la descomposición térmica se presenta una serie compleja de reacciones químicas, además de procesos de transferencia de masa a calor. Los parámetros físicos que influyen durante el proceso de pirólisis son el radio de carbonización o acumulación de calor, pretratamientos térmicos, atmósfera, presión, catalizadores, tipos de biomasa y temperatura final. La pirólisis puede realizarse a distintas velocidades de calentamiento como la pirólisis convencional o carbonización, pirólisis rápida, lenta, pirólisis flash y la reactiva. (Canul 2013, pp. 13-30)

La carbonización normal se presenta en un intervalo de temperaturas de 400 a 600°C, con tiempos de residencia en horas y días de carbonización. Con el incremento de la temperatura se produce la ruptura de los enlaces glucosídicos y por consiguiente una despolimerización parcial del componente celulósico de la madera. Las reacciones ocurridas a 100°C son endotérmicas debidas a la eliminación de la humedad. La emisión de gases se produce principalmente entre 200 y 400°C, excepto para el CO y CO<sub>2</sub> que se liberan a más altas temperaturas (Flores y Quinteros, 2008, p. 13).

## **1.7 Factores que influyen en la elaboración y calidad del carbón vegetal**

### ***1.7.1 Contenido de humedad***

En el proceso de carbonización se eleva la temperatura de la leña hasta valores de 450°C u 800°C con la finalidad de modificar la estructura de la madera y mejorar sus propiedades combustibles, cuando el contenido de humedad de la leña va de 50 a 100% se utiliza mayor cantidad de leña para quemarse dentro del horno para evaporar el exceso de agua antes que se inicie la carbonización, por lo que los rendimientos son considerados bajos (FAO, 1983, p. 154).

Canul (2013, p. 13) mencionan que la humedad de la leña para ser utilizada en la elaboración del carbón vegetal puede presentar contenidos de humedad de 25 a 30%; éstos mismos autores catalogan a la leña con un contenido de humedad de 70 a 80% como verde, también recomienda que la leña debe de cortarse en longitudes de 50 cm, con diámetros de 5 a 20 cm, para favorecer una completa carbonización.

Por otra parte, en los bosques tropicales, es necesario carbonizar la madera con un mayor contenido inicial de humedad, evitando que la madera se deteriore, por lo que sólo se deja secar durante pocas semanas antes de la carbonización (FAO, 1983, p. 154).

### ***1.7.2 Densidad***

La densidad de la madera es la propiedad física más importante, está relacionada con la mayoría de las propiedades físicas, mecánicas y energéticas de la madera. La densidad en la producción del carbón está relacionada con el rendimiento leña-carbón, carbono fijo, contenido de volátil, cenizas y poder calorífico. Canul (2013, p. 13-30) mencionan que la densidad del carbón vegetal es directamente proporcional a la densidad en seco de la madera, la madera con mayor densidad requiere mayor temperatura de carbonización y mientras mayor sea la temperatura durante la carbonización será mejor la calidad del carbón vegetal.

### ***1.7.3 Rendimientos***

Canul (2013, p. 13-30) menciona que los rendimientos de la carbonización son variados debido a diversos factores, entre los que destacan los equipos y procesos utilizados, como también la densidad de las especies, contenido de celulosa y lignina, el tamaño de la leña y contenido de resinas. El rendimiento será mejor si la madera contiene menos del 50 % de contenido de húmeda antes del inicio de la carbonización.



## **1.8 Tipos de Hornos**

En el transcurso de la historia el hombre ha utilizado diferentes tecnologías para la elaboración del carbón vegetal, iniciando por la más antigua como el método de parva o montículo, seguida del método de fosa y más tarde el horno construido mediante tabiques o tipo colmena brasileño, el tipo de horno más utilizado es el de bolón o sistema tradicional; seguido del horno de fosa (Argueta, 2006, p. 57). La elaboración del carbón vegetal por combustión en hornos de fosa es una de las prácticas más antiguas. La característica común de todos los hornos es la de proteger la carga de madera contra la entrada directa de aire (Argueta, 2006, p. 57).

### ***1.8.1 Método de parva o montículo***

Para la construcción del horno de parva Canul (2013, p. 13-30) recomiendan que la superficie sea sensiblemente plana y compacta, con ausencia de humedad en el suelo y libre de material combustible. También recomiendan que se debiese de construir con una capacidad no mayor a una tonelada de leña, ya que cantidades mayores a ésta puede complicar su manejo y con ello la producción. En los hornos de parva o también llamados de volcán la madera se estiva sobre el suelo y se cubre con tierra; la finalidad es que la madera a carbonizar quede encerrada en una cámara hecha con el suelo y aislada del aire con tierra. Las dimensiones más utilizadas son de aproximadamente 4 m 10 de diámetro en la base y de 1.0 a 1.5 m de altura. La ventaja de este tipo de horno es que se puede construir cerca de la materia prima y en las áreas donde los subproductos forestales se encuentran de una manera dispersa.

Los hornos de tierra aun cuando se hacen funcionar con eficiencia, queman y enfrían en forma lenta, además contaminan el carbón vegetal con tierra. La principal ventaja es la baja inversión durante su construcción cuando el capital es limitado o no existe (FAO, 1983, p. 154).

### ***1.8.2 Horno tipo fosa***

Este tipo de horno consiste en utilizar tierra para aislar la leña del oxígeno, se excava un pozo donde se coloca la leña y se cubre con suelo. En la actualidad los hornos tipo fosa presentan algunas modificaciones consistentes en colocar una tapa metálica en la parte alta de la fosa. Los pozos excavados en el suelo se diseñan con una entrada y salida de aire en cada extremo. Después de apilar la leña, se tapa con piezas metálicas en la parte superior quedando la leña completamente aislada del oxígeno y finalmente se enciende el fuego en la entrada del aire o en una esquina del horno (FAO, 1983, p. 154).

### **1.8.3 Horno tipo colmena brasileño**

Este horno es uno de los que presentan mayor producción, presenta un buen rendimiento y buena calidad de carbón vegetal. Si este tipo de horno es operado correctamente, es uno de los métodos más efectivos para la producción de carbón vegetal. La inversión para la construcción de este tipo de hornos es moderada, se requiere poca mano de obra y en función del tamaño se pueden obtener en cada quema de 9 a 10 toneladas de carbón vegetal. Según FAO (1983, p. 154) la calidad del carbón obtenido por este método cumple con las especificaciones para todo uso industrial y doméstico. Flores y Quinteros (2008, p. 65) recomiendan que la construcción debe ser sencilla para que las tensiones térmicas al calentarse y enfriarse no lo afecten, además debe ser lo suficientemente robusto para aguantar las tensiones mecánicas de la carga y descarga. La vida útil de este tipo de hornos fue estimada por estos autores de seis a diez años.

## **1.9 Descripción de las especies**

### **1.9.1 *Eucalyptus globulus* Labill**

Pertenece a la familia Myrtaceae, llegan a medir hasta los 50 m de altura y 1,20 m de diámetro en estado fustal (adulto), el tronco es cilíndrico y recto; en estado latizal (joven) las hojas son opuesta, sésiles de color gris azulado y en árboles adultos son alternas, pecioladas de 15 a 25 cm de largo. Además, esta especie es muy cotizada en el país para el mercado forestal por su madera fina (MAGAP, 2013, p. 1).

Esta especie fue introducida al Ecuador en el año 1869. En la Sierra ecuatoriana, se encuentra formando bosques, bosquetes, en linderos de propiedades o como árboles aislados, todo esto en forma dispersa, principalmente coincidente con la zona ecológica denominada bosque siempre verde montano alto de cordillera occidental de los andes Crece bien a alturas que están entre 2100-3200 m.s.n.m. (MAGAP, 2013, p. 1). Diversas especies han sido difundidas en el mundo, especialmente en climas tropicales, subtropicales y templados; esto se debe a cualidades como rápido crecimiento, tronco erecto, resistencia a la sequía entre otros aspectos. (MAGAP, 2013, p. 1).

El eucalipto ocupa el primer lugar con el 19,43% del volumen total de madera autorizada a nivel nacional (MAE, 2010, p. 4).

### **1.9.2 *Piptocoma discolor***

Pertenece a la familia *Asterácea*, considerada una especie pionera por su forma natural de

crecimiento en los claros del bosque. Es un árbol de madera blanda y crecimiento rápido que puede alcanzar una altura máxima de 30 m.; el diámetro del tronco es de aproximadamente 60 cm., con forma cilíndrica y presenta ramificaciones por encima del tercio inferior, crece en suelos limosos y arcillosos de bosques secundarios tempranos y tardíos de la región amazónica. (González 2018, pp. 366-379).

Se encuentra distribuida de manera general en toda la región amazónica hasta donde ha penetrado la colonización la misma que ha permitido la formación de extensos bosques secundarios, siendo el centro de mayor densidad, El Puyo además la mejor zona para el Pigüe está en el área comprendida en un radio de 25 a 30 Km. Se encuentra desde los 500 hasta los 1500 m.s.n.m. (MAGAP, 2013, p. 10).

## CAPITULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Lugar de la investigación

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Química de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

##### **Ubicación geográfica Datum WGS 84.**

- Latitud: 1°38'51" S.
- Longitud: 78°40'58" O.
- Altitud: 2820 (Estación meteorológica ESPOCH, 2021)

##### **Condiciones de laboratorio.**

- Temperatura promedio: 22° C.
- Humedad relativa: 50 a 55 %.

##### **2.1.1. Lugar de elaboración del carbón vegetal**

La elaboración de carbón de *Eucalyptus globulus* (Eucalipto) y *Piptocoma discolor* (Pigiie) se llevó a cabo de manera constante en la propiedad de la Señora Mélida Coba que se encuentra ubicada en la Parroquia San Andrés, Cantón Guano, Provincia de Chimborazo.

##### **Condiciones climáticas**

Temperatura: 6-14°C

Precipitación: 500-1000mm/añual

Altitud: Altitud de 2800 msnm.

##### **2.1.2. Recolección del material vegetal**

Según las normas Panamericanas (COPANT 458 [sin fecha], p. 1) se procedió a recolectar las probetas de madera con un tamaño aproximadamente de 2.5 cm x 2.5 cm en forma de prisma de las dos especies en estudio en la provincia de Chimborazo, parroquia San Andrés Cantón Guano.

## **2.2. Materiales y equipos**

### **2.2.1. *Materiales de campo***

- Bolsas plásticas
- Botas
- Guantes
- Libreta de campo
- Sierra

### **2.2.2. *Materiales de laboratorio***

- Bolsa Ziploc
- Crisoles
- Guantes
- Mandil
- Muestras de la madera
- Pinzas
- Probeta de 100ml

### **2.2.3. *Materiales de oficina***

- Computadora
- Programas informáticos: Word 2019, Excel 2019, SPSS.

### **2.2.4. *Equipos***

- Balanza digital
- Calibrador
- Desecador
- Estufa eléctrica
- Mufla eléctrica

## 2.3. Metodología

### 2.3.1. Análisis estadístico

#### 2.3.1.1. Verificación de supuestos y pruebas estadísticas para dos muestras independientes

Al tratarse de muestras independientes se determinó la homocedasticidad al aplicar la prueba de Levene y la normalidad con estadígrafo Shapiro-Wilk (ANEXOS M, N, O, P, Q, R, S, T).

#### 2.3.1.2. Prueba t-Student

Para determinar las diferencias entre las dos especies, una vez que se verificó su cumplimiento, se procedió a utilizar la Prueba t-Student para dos muestras independientes. Todos los análisis se realizaron a un nivel de confianza del 95%, y en el caso de las variables densidad en seco que no cumplieron con las dos condiciones se aplicó la prueba de Mann Whitney, para procesar los datos se utilizó el paquete estadístico IBM-SPSS 25.0

#### 2.3.1. Para la ejecución del primer objetivo; Determinar el contenido de humedad y densidad de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*

Para la determinación del porcentaje de la humedad de las especies se realizó con los respectivos procedimientos según la normativa internacional ASTM D3173. La tabla 1-2 presenta el ejemplo del formato utilizado para la toma de los datos de humedad de las muestras en estudio.

**Tabla 1-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para humedad

N-°	Peso crisol (g)	Peso crisol+ muestras humedad (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g)	% Humedad total
1						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021.

Después de obtener 5 probetas de madera de 2.5 cm x 2.5 cm de cada una de las especies en estudio se procedió de la siguiente manera:

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetaron respectivamente 5 por cada especie en estudio y se procedió a pesar en la balanza analítica, su peso fue registrado, posteriormente se procede a tarar los crisoles en la estufa a 105°C durante 24 horas, al final se pesan los crisoles y se registra.
- Se tomaron las muestras de madera y se pesaron en la balanza analítica para obtener el peso inicial de cada una de ellas, se introducen las muestras de madera respectivamente en cada crisol de cada especie y su etiqueta para ingresar a la estufa a 105 grados centígrados por un periodo de 24 horas, pasado ese periodo de tiempo se apaga la estufa y se retiran los crisoles y muestras con pinzas y se dejó por un periodo de tiempo de 30 min en el desecador, se pesó el crisol + la muestra, este proceso se repitió hasta obtener un peso constante de las probetas.
- Una vez llenados los datos de la Tabla 1-2 se procedió a determinar el porcentaje de humedad, en el ANEXO C se muestra el procedimiento grafico de la determinación de humedad de las muestras.

### **Cálculo para la determinación del porcentaje de humedad**

Para calcular el porcentaje de humedad se tomó en cuenta las normas ASTM D3173 internacional en la que se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad} = \frac{A - B}{A} * 100\%$$

Donde:

A= Peso inicial, g de muestra utilizados

B= Peso final, g de muestras después del calentamiento

De esta manera se obtuvo el total de las muestras un porcentaje de humedad en peso, relacionada a la muestra húmeda.

#### *2.3.2.1. Densidad*

Para determinar la densidad de la madera de las especies en estudio se realizó con los respectivos procedimientos según la norma COPANT 459, la tabla 2-2 presenta el formato utilizado para la toma de datos de la densidad:

**Tabla 2-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para la densidad

N.º	Volumen	Masa	Densidad
1			

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021.

- Se obtuvo las muestras de cada especie en estudio, se procedió a realizar la toma de datos, se utilizó un calibrador digital en el cual se tomaron datos de largo, ancho y espesor para obtener el volumen, se aplicó la fórmula siguiente:

$$V = l * a * e$$

Donde:

l= largo

a= ancho

e= espesor

### **Cálculo para obtener la densidad**

Para calcular la densidad se emplea la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = masa

v = volumen

Una vez obtenidos todos los datos de masa y volumen se obtuvieron las densidades de la madera tanto en verde y seco al horno de las especies en estudio.

### **2.3.2. Para la ejecución del segundo objetivo: Calcular el Poder Calorífico *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir de la madera.**

Para poder calcular el poder calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir de la madera se debe obtener el material volátil, contenido de cenizas y el carbono fijo de las muestras de madera hasta llegar a la calcinación.

#### **2.3.3.1. Material Volátil**



Para determinar el Material Volátil de las muestras se realizó el procedimiento según la normativa ASTM (Norma D3175-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, en la tabla 3-2 presenta el formato utilizado para determinar el material volátil.

**Tabla 3-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Material Volátil

<b>N.º</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol+ muestras (g)</b>	<b>Peso neto residuos (g)</b>	<b>% Humedad de las muestras (g)</b>	<b>Peso inicial de las muestras (g)</b>	<b>% Material volátil total</b>
<b>1</b>						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiqueta respectivamente 5 por cada especie en estudio y se procedió a pesar en la balanza analítica, se registra el peso de los crisoles antes y después de tarar a 105°C en la estufa, se procede a pesar las muestras con su respectivo crisol y en el cual se toma datos de cada peso neto.
- Se procedió a calibrar la mufla a una temperatura de 900°C gradualmente según la normativa ASTM para material volátil, una vez alcanzada la temperatura se procedió a ingresar las muestras a la mufla por un tiempo establecido de 9 minutos, se retiraron las muestras de la mufla con pinzas y guantes y se dejó enfriar las muestras en el desecador por un lapso de 30 minutos con la finalidad de evitar dañar las muestras, equipos y materiales debido a que se encuentra a una temperatura muy elevada.
- Una vez llenado los datos en la Tabla 3-2 se puede determinar el contenido de material volátil.

### **Cálculo del Material Volátil**

Para calcular el porcentaje material volátil se tomó en cuenta las normas ASTM (Norma D3175-89(02)) internacional, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\%MV = \left( \frac{C-D}{C} \times 100 \right) - \% \text{ HUMEDAD}$$

Donde:

C= Peso inicial g, de muestra utilizada

D= Peso final g, muestra después del calentamiento

De esta manera de obtuvo el resultado de todas las muestras para el material volátil.

### 2.3.3.2. Contenido de cenizas

Para determinar el Contenido de Cenizas de las muestras se utilizó los procedimientos de la normativa ASTM (Norma D3172-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, en la tabla 4-2 se presenta el formato utilizado en la toma de datos para determinar el contenido de cenizas.

**Tabla 4-2.** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Contenido de Cenizas

<b>N.º</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol+ muestras (g)</b>	<b>Peso neto residuos (g)</b>	<b>Peso del crisol + cenizas (g)</b>	<b>Peso neto de cenizas (cenizas – crisol) (g)</b>	<b>Porcentaje de cenizas total</b>
<b>1</b>						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetó respectivamente 5 por cada especie en estudio y se los pesa en la balanza analítica, se registra el peso de los crisoles antes y después de tarar a 105°C en la estufa, se procede a pesar las muestras con su respectivo crisol y en el cual se toma datos de cada peso neto. Se introducen los crisoles a la mufla con una temperatura de 450°C a 500°C durante una hora.
- Posteriormente se programa la mufla a una temperatura de 700°C a 750°C por un lapso de 2 horas, una vez alcanzado el tiempo se vuelve a programar la mufla a una temperatura final de 950°C por un lapso de 2 horas hasta obtener una incineración completa como indica la Norma ASTM (D3172-89(02)). Pasado este periodo de tiempo se sacan los crisoles de la mufla con una pinza y se deja enfriar los crisoles en el desecador por 30 minutos y se registran los pesos.
- Una vez llenado los datos de la Tabla 4-2 se procede a realizar los cálculos respectivos para determinar el contenido de cenizas.

#### **Cálculo del Contenido de Cenizas**

Para calcular el porcentaje de cenizas se tomó en cuenta las normas ASTM (Norma D3172-89(02)) internacional, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\%C = \left( \frac{A-B}{C} \right) \times 100$$

Donde:

A= Peso de la capsula y residuos

B= Peso capsula vacía

C= Peso de la muestra utilizada

### 2.3.3.3. *Carbono fijo*

Para determinar el Carbono fijo de las muestras se utilizó los procedimientos de la normativa ASTM (Norma D3172-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, la tabla 5-2 presenta el formato utilizado en la toma de datos para determinar el porcentaje de Carbono fijo.

**Tabla 5-2:** Formato utilizado para determinar el porcentaje de Carbono fijo

N.º	% Humedad	% Material volátil	% Contenido de cenizas
1			

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Una vez obtenido los porcentajes de humedad, material volátil y contenido de cenizas se puede obtener los resultados de Carbono fijo.

### **Cálculo del Carbono Fijo**

Para calcular el porcentaje de carbono fijo se realizó el procedimiento según las normas ASTM (Norma D3172-89(02)) internacional, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$CF=100-(\%HUMEDAD+\% MATERIAL VOLATIL+\% CENIZAS)$$

### 2.3.3.4. *Poder Calorífico*

Para poder calcular el poder calorífico de las especies en estudio a partir de la madera se realiza obteniendo los resultados de contenido de humedad, materiales volátiles, cenizas y carbono fijo, para obtener tal resultado se calculó de acuerdo con la fórmula de GOUTAL (Carbajal 2012, p. 7) que es la siguiente:

$$PC=82c+AV \text{ kcal/kg}$$

Donde:

C= Porcentaje de carbono fijo

V= Porcentaje de material volátil

A= Es el coeficiente obtenido de la relación siguiente:

$$A = \frac{V}{(V + C)}$$

### 2.3.3. Para la ejecución del tercer objetivo: Calcular el Poder Calorífico *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir del carbón.

Para la determinación del poder calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir del carbón se determinó el contenido de humedad y densidad del carbón como también el material volátil, cenizas y Carbono fijo.

#### 2.3.4.1. Humedad del carbón

Para la determinación del porcentaje de la humedad del carbón de las especies en estudio se realizó con los respectivos procedimientos según la norma ASTM D3173 internacional. La tabla 6-2 presenta el ejemplo del formato utilizado para la toma de los datos de las muestras en estudio.

**Tabla 6-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para humedad

N-°	Peso crisol (g)	Peso crisol+ muestras humedad (g)	Peso neto residuos (g)	Peso crisol + residuos secos (g)	Peso neto de residuos sin humedad (g)	% Humedad total
1						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

Después de obtener 5 muestras de carbón de cada una de las especies en estudio se procedió de la siguiente manera:

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetaron respectivamente 5 por cada especie en estudio y se procedió a pesar en la balanza analítica, se procedió a tarar los crisoles en una estufa a 105 grados centígrados durante un periodo de 24 horas y se registran los pesos se repite el proceso hasta obtener un peso constante.
- Seleccionamos las muestras de carbón y se pesaron en la balanza analítica para obtener el peso inicial de cada una de ellas, se introducen las muestras respectivamente en cada crisol de cada especie y su etiqueta para ingresar a la estufa a 105 grados centígrados por un periodo de 24

horas, pasado ese periodo de tiempo se apaga la estufa y se retiran los crisoles y muestras con pinzas y se procedió a dejar por un periodo de tiempo de 30 min en el desecador y se pesó el crisol + la muestra, este proceso se repitió hasta obtener un peso constante de la muestra.

- Una vez llenados los datos de la tabla 6-2 se halló el porcentaje de humedad.

### **Cálculo para la determinación del porcentaje de humedad**

Para calcular el porcentaje de humedad se tomó en normativa ASTM D3173 internacional, la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\% \text{Humedad} = \frac{A - B}{A} * 100\%$$

Donde:

A= Peso inicial, gr de muestra utilizados

B= Peso final, gr de muestras después del calentamiento

De esta manera se obtuvo el total de las muestras de carbón un porcentaje de humedad en peso, relacionada a la muestra húmeda.

#### *2.3.4.2. Densidad del carbón*

Para determinar la densidad del carbón de las especies en estudio se realizó con los respectivos procedimientos según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1986:2013, se utilizó la técnica de la probeta, la tabla 7-2 presenta el formato utilizado para la toma de datos:

**Tabla 7-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para la densidad del carbón

<b>N.º</b>	<b>Masa</b>	<b>Vol. Agua</b>	<b>V. Agua+ Carbón</b>	<b>V. Carbón</b>	<b>Densidad</b>
<b>1</b>					

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Una vez obtenidas las muestras de carbón de cada especie en estudio, se procedió a realizar la técnica de la probeta y la toma de datos, se utilizó una probeta graduada de 100ml, se añadió 50 ml de agua en la probeta y posteriormente se procedió a sumergir la muestra de carbón y se toma los datos del volumen del agua + carbón,
- Una vez obtenido todos los resultados y datos de la densidad del carbón se aplicó la fórmula siguiente:  $V = bxaxe$

## Cálculo para obtener la densidad

Para calcular la densidad se emplea la siguiente fórmula:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

m = masa

v = volumen

Una vez obtenidos todos los datos de masa y volumen se obtuvieron las densidades del carbón de las especies en estudio.

### 2.3.4.3. Material Volátil

Para determinar el Material Volátil de las muestras de carbón se utilizó la normativa ASTM (Norma D3175-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, la tabla 8-2 se presenta el formato utilizado para determinar el material volátil.

**Tabla 8-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Material Volátil

<b>N.º</b>	<b>Peso crisol (g)</b>	<b>Peso crisol+ muestras (g)</b>	<b>Peso neto residuos (g)</b>	<b>% Humedad de las muestras (g)</b>	<b>Peso inicial de las muestras (g)</b>	<b>% Material volátil total</b>
<b>1</b>						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiqueto respectivamente 5 por cada especie en estudio y se procedió a pesar en la balanza analítica, una vez registrado el peso de los crisoles antes y después de tarar a 105°C en la estufa se procede a pesar la muestra con su respectivo crisol y en el cual se toma datos de cada peso neto.
- Posteriormente se procedió a calibrar la mufla a una temperatura de 900°C gradualmente según la normativa ASTM para material volátil, una vez alcanzada la temperatura se procedió a ingresar las muestras a la mufla por un tiempo establecido de 5 minutos, se retiran las muestras de la mufla con pinzas y guantes y se deja enfriar las muestras en el desecador por un lapso de 30 minutos con la finalidad de evitar dañar las muestras, equipos y materiales debido a que se encuentra a una temperatura muy elevada.
- Una vez llenado los datos en la Tabla 8-2 se puede determinar el contenido de material volátil.

### Cálculo del Material Volátil

Para calcular el porcentaje material volátil se tomó en cuenta la normativa internacional ASTM (Norma D3175-89(02)), la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\%MV = \left( \frac{C-D}{C} \times 100 \right) - \% \text{ HUMEDAD}$$

Donde:

C= Peso inicial g, de muestra utilizada

D= Peso final g, muestra después del calentamiento

De esta manera se obtuvo el resultado de todas las muestras para el material volátil.

#### 2.3.4.4. Contenido de cenizas

Para determinar el Contenido de Cenizas de las muestras de carbón se utilizó la normativa ASTM (Norma D3172-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, la tabla 9-2 presenta el formato utilizado en la toma de datos para determinar el contenido de cenizas.

**Tabla 9-2:** Formato empleado en la toma de datos de laboratorio para el Contenido de Cenizas

N.º	Peso crisol (g)	Peso crisol+ muestras (g)	Peso neto residuos (g)	Peso del crisol + cenizas (g)	Peso neto de cenizas (cenizas – crisol) (g)	Porcentaje de cenizas total
1						

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Se tomaron 10 crisoles de porcelana de 50 ml, se los etiquetó respectivamente 5 por cada especie en estudio y se los pesa en la balanza analítica, se registra el peso de los crisoles antes y después de tarar a 105°C en la estufa se procede a pesar las muestras con su respectivo crisol y en el cual se toma datos de cada peso neto.
- Se introducen los crisoles con las muestras a la mufla con una temperatura de 450°C a 500°C durante una hora, luego se programó la mufla a una temperatura de 700°C a 750°C por un lapso de 2 horas, una vez alcanzado el tiempo se vuelve a programar la mufla a una temperatura final de 950°C por un lapso de 2 horas hasta obtener una incineración completa.
- Pasado este periodo de tiempo se sacan los crisoles de la mufla con una pinza y se deja enfriar los crisoles en el desecador por 30 minutos se pesa y se registra los datos.

- Una vez llenado los datos de la Tabla 9-2 se procede a realizar los cálculos respectivos para determinar el contenido de cenizas.

### **Cálculo del Contenido de Cenizas**

Para calcular el porcentaje de cenizas se tomó en cuenta la normativa ASTM internacional (Norma D3172-89(02)), la fórmula a aplicar es la siguiente:

$$\%C = \left( \frac{A-B}{C} \right) \times 100$$

Donde:

A= Peso de la capsula y residuos

B= Peso capsula vacía

C= Peso de la muestra utilizada

#### *2.3.4.5. Carbono fijo*

Para determinar el Carbono fijo de las muestras se utilizó la normativa ASTM (Norma D3172-89(02)) y los requerimientos dispuestos por el laboratorio, en la siguiente tabla se presenta el formato utilizado en la toma de datos para determinar el contenido de cenizas.

**Tabla 10-2:** Formato utilizado para determinar el porcentaje de carbono fijo

<b>N.º</b>	<b>% Humedad</b>	<b>% Material volátil</b>	<b>% Contenido de cenizas</b>
<b>1</b>			

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

- Una vez obtenido los porcentajes de humedad, material volátil y contenido de cenizas se puede obtener los resultados de carbono fijo.

### **Cálculo del Carbono Fijo**

Para calcular el porcentaje de carbono fijo se tomó en cuenta la normativa ASTM internacional (Norma D3172-89(02)), la formula a aplicar es la siguiente:

$$CF = 100 - (\%HUMEDAD + \% MATERIAL VOLATIL + \% CENIZAS)$$



#### 2.3.4.6. Poder Calorífico

Para poder calcular el poder calorífico de las especies en estudio a partir del carbón se realiza obteniendo los resultados de contenido de humedad, materiales volátiles, cenizas y carbono fijo, para obtener tal resultado se calculó de acuerdo con la fórmula de GOUTAL (Carbajal 2012, p. 7) que es la siguiente:

$$PC=82c+AV \text{ kcal/kg}$$

Donde:

C= Porcentaje de carbono fijo

V= Porcentaje de material volátil

A= Es el coeficiente obtenido de la relación siguiente

$$A = \frac{V}{(V + C)}$$

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 Humedad y Densidad a partir de la madera de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*

##### 3.1.1. Densidad en verde

En la Tabla 1-3 se detalla los datos de masa, volumen y el valor obtenido para la densidad de la madera en verde de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor*.

**Tabla 1-3:** Densidad en verde de la madera

	MASA (g)	VOLUMEN cm <sup>3</sup>	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus globulus</i>	16,76	17,47	0,97
<i>Piptocoma discolor</i>	15,09	17,86	0,84

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

##### 3.1.2. Análisis estadístico densidad en verde

###### 3.1.2.1. Prueba t- Student densidad en verde de la madera

Según la prueba t- Student la densidad en verde de la madera de *Eucalyptus globulus* presentó un valor superior de **0,97** g/cm<sup>3</sup> a comparación de *Piptocoma discolor* con **0,84** g/cm<sup>3</sup> (Tabla 2-3), se evidencia diferencia significativa ( $p < 0,05$ )  $p = 0,000$  (Anexo G); siendo la diferencia entre ambos de 0,13 g/cm<sup>3</sup>. Similar al valor obtenido por Espina, A. 2006 en su estudio densidad básica de la madera de *Eucalyptus globulus* en la que se reporta una densidad de 0,800 g/cm<sup>3</sup> y de la misma manera similar a lo que obtiene Morejón, E. 2017 en su estudio propiedades físicas y mecánicas de tres especies forestales entre ellas *Piptocoma discolor* con una densidad de 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 2-3:** Prueba de T-Student para densidad en verde de la madera

		Estadísticos de grupo			
Especie		N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Densidad en verde g/cm <sup>3</sup>	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	,9650	,02490	,01114
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	,8480	,03194	,01428

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.1.3. Densidad en seco

**Tabla 3-3:** Densidad en seco de la madera

	MASA (g)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Eucalyptus globulus</i>	10,15	1,89	0,83
<i>Piptocoma discolor</i>	8,14	15,6	0,58

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

#### 3.1.3.1. Prueba de muestras independientes Mann-Whitney

Como puede apreciarse el estadígrafo de U de Mann-Whitney fue de **0,000** y el valor de p (Sig. asintót. bilateral) es **0,009**, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternante, se concluye que la variable densidad de la madera en verde de cada especie se difiere entre ellas, con un nivel de significación del 5%, como se muestra en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Prueba no paramétrica, Prueba de Mann-Whitney

		Rangos		
	Especie	N	Rango promedio	Suma de rangos
Densidad en seco g/cm <sup>3</sup>	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	8,00	40,00
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	3,00	15,00
	Total	10		

#### Estadísticos de contraste<sup>a</sup>

	Densidad en seco g/cm <sup>3</sup>
U de Mann-Whitney	0,000
W de Wilcoxon	15,000
Z	-2,619
Sig. asintót. (bilateral)	,009
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	,008 <sup>b</sup>

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.1.4. Humedad de la madera

En la Tabla 5-3 se distingue los resultados de la humedad de las dos especies en estudio, dando como resultado que la especie con más contenido de humedad fue *Piptocoma discolor* con un valor de 40,91% seguida de *Eucalyptus globulus* con un valor de 38,58%.

**Tabla 5-3:** Humedad de la madera

	Humedad de la madera %
<i>Eucalyptus globulus</i>	<b>38,58</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	<b>40,91</b>

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.1.4.1. Análisis estadístico humedad de la madera prueba de Mann-Whitney

Como puede apreciarse el estadígrafo de U de Mann-Whitney fue de **0,000** y el valor de p (Sig. asintót. bilateral) es **0,009**, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternante se concluye que la variable humedad de la madera de cada especie se difiere entre ellas, con un nivel de significación del 5%, como se muestra en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Humedad de la madera prueba de Mann-Whitney

<b>Rangos</b>				
	Especie	N	Rango promedio	Suma de rangos
Humedad	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	3.00	15.00
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	8.00	40.00
	Total	10		

<b>Estadísticos de contraste<sup>a</sup></b>	
	Humedad
U de Mann-Whitney	0.000
W de Wilcoxon	15.000
Z	-2.619
Sig. asintót. (bilateral)	.009
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.008 <sup>b</sup>

a. Variable de agrupación: Especie

b. No corregidos para los empates.

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

## 3.2 Poder Calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir de la madera

En la tabla 7-3 se muestra los resultados obtenidos del poder calorífico a partir de la madera de las 5 probetas de madera de las dos especies en estudio, teniendo como resultado que la especie de *Eucalyptus globulus* tiene mayor eficiencia con un valor de 1065,2 kcal/kg en el poder calorífico y un valor de 840,49 kcal/kg para la especie de *Piptocoma discolor*.

**Tabla 7-3: Poder Calorífico de la madera**

	Poder Calorífico kcal/kg
<i>Eucalyptus globulus</i>	<b>1065,2</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	<b>840,49</b>

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.2.1. Análisis estadístico del poder calorífico a partir de la madera

#### 3.2.1.1. Prueba t- Student poder calorífico de la madera

Según la prueba t- Student el poder calorífico de la madera de *Eucalyptus globulus* presentó un valor superior de **1064,13** kcal/kg a comparación de *Piptocoma discolor* con **804,61** kcal/kg (Tabla 8-3), se evidencia diferencia significativa ( $p < 0,05$ )  $p = 0,002$  (Anexo Q); siendo la diferencia entre ambos de 259,52 kcal/kg. Similar al valor obtenido por Mera, M.2016 en su estudio la evaluación de la capacidad calórica a partir de residuos de tres especies entre ellas *Eucalyptus globulus* en la que obtiene un poder calorífico de 2173,903 kcal/kg y de la misma manera similar a lo que obtiene Pozo, V. 2019 en su estudio denominado determinación de la viabilidad técnica y económica de la combustión de *Piptocoma discolor* obtuvo un poder calorífico de 955,280 kcal/kg.

**Tabla 8-3: Prueba T- Student**

		Estadísticos de grupo			
	Especie	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Poder Calorífico kcal/kg	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	1064,13	59,86	26,77
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	804,61	97,58	43,64

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.3 Poder Calorífico de *Eucalyptus globulus* y *Piptocoma discolor* a partir del carbón

#### 3.3.1. Humedad del carbón

En la Tabla 9-3 se puede observar los resultados obtenidos de la humedad del carbón de las 5 probetas de madera de cada especie en estudio dando como resultado que la especie de *Piptocoma discolor* tiene mayor contenido de humedad en el carbón con el 58,2% en comparación con el valor más bajo de *Eucalyptus globulus* con el 7,34%.

**Tabla 9-3:** Humedad del carbón

	Humedad del carbón %
<i>Eucalyptus globulus</i>	<b>7,34</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	<b>58,82</b>

**Realizado por:** Godoy, Pilar, 2021

### 3.3.1.1. Análisis estadístico prueba t-Student humedad del carbón

Según la prueba t- Student la humedad del carbón de *Eucalyptus globulus* presentó un valor de **11,43 %** a comparación de *Piptocoma discolor* con **59,37 %** (Tabla 10-3), se evidencia diferencia significativa ( $p < 0,05$ )  $p = 0,000$  (Anexo R); siendo la diferencia entre ambos de 47,94% de humedad del carbón. Similar al valor obtenido por Giménez, G. 1990 en su estudio denominada características del carbón de 2 especies de Eucalipto entre ellas, *Eucalyptus globulus* en la que obtiene una densidad de 13,530 % y de la misma manera similar a lo que reporto Cruz, C. 2019 en su estudio caracterización energética del carbón vegetal en México entre las especies se encuentra *Piptocoma discolor* una densidad del 50,1%.

**Tabla 10-3:** Prueba T

		Estadísticos de grupo			
Especie		N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Humedad carbón	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	11,4300	8,76128	3,91816
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	59,3780	5,66430	2,53315

**Realizado por:** Godoy, Pilar, 2021

### 3.3.2. Densidad del carbón

En la Tabla 11-3 se aprecia los resultados obtenidos de la densidad del carbón de las 5 muestras de cada especie dando como resultado que la especie de *Eucalyptus globulus* tiene mayor densidad en su carbón (0,36 g/cm<sup>3</sup>) en relación con la muestra de carbón de *Piptocoma discolor* (0,32 g/cm<sup>3</sup>).

**Tabla 11-3.** Densidad del carbón

	Densidad del carbón g/cm <sup>3</sup>
<i>Eucalyptus globulus</i>	<b>0,36</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	<b>0,32</b>

**Realizado por:** Godoy, Pilar, 2021

### 3.3.2.1. Análisis estadístico Prueba de Mann-Whitney densidad del carbón

Como puede apreciarse el estadígrafo de U de Mann-Whitney fue de **4,000** y el valor de p (Sig. asintót. bilateral) es **0,075**, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternante se concluye que la variable densidad del carbón de cada especie se difiere entre ellas, con un nivel de significación del 5 % (Tabla 12-3).

**Tabla 12-3:** Pruebas no paramétricas – Prueba de Mann-Whitney

		Rangos		
Especie		N	Rango promedio	Suma de rangos
Densidad del carbón	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	7,20	36,00
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	3,80	19,00
	Total	10		

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

Estadísticos de contraste <sup>a</sup>	
	Densidad del carbón
U de Mann-Whitney	4,000
W de Wilcoxon	19,000
Z	-1,781
Sig. asintót. (bilateral)	,075
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	,095 <sup>b</sup>

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.3.3. Poder calorífico a partir del carbón

En la Tabla 13-3 se visualizan los resultados obtenidos del poder calorífico a partir del carbón teniendo a la especie de *Eucalyptus globulus* con una alta eficiencia en el poder calorífico de su carbón (6885,87 kcal/kg) y para la especie de *Piptocoma discolor* (2517,6 kcal/kg).

**Tabla 13-3.** Poder calorífico del carbón

	Poder calorífico del carbón kcal/kg
<i>Eucalyptus globulus</i>	<b>6885,87</b>
<i>Piptocoma discolor</i>	<b>2517,6</b>

Realizado por: Godoy, Pilar, 2021

### 3.3.3.1. Análisis estadístico Prueba t- Student poder calorífico carbón

Según la prueba t- Student, el poder calorífico de la madera de *Eucalyptus globulus* presentó un valor superior de **6719,78** kcal/kg a comparación de *Piptocoma discolor* con **2604,01** kcal/kg (Tabla 14-3), se evidencia diferencia significativa ( $p < 0,05$ )  $p = 0.000$  (Anexo T); siendo la diferencia entre ambos de 4115,77 kcal/kg. Similar al valor obtenido por Giménez, G. 1990 en su estudio denominado características del carbón de especies de Eucalipto entre ellas *Eucalyptus globulus* en la que obtiene un poder calorífico 7200,01 kcal/kg y de la misma manera similar a lo que reporta Torre, B. 2019 en su estudio poder calorífico de la madera y carbón de especies forestal en Perú de obtiene 2793,6 kcal/kg. La prueba t-Student determino una diferencia altamente significativa en el poder calorífico de las especies en estudio.

**Tabla 14-3:** Prueba t-Student poder calorífico del carbón

Estadísticos de grupo					
Especie		N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Poder Calorífico kcal/kg	<i>Eucalyptus globulus</i>	5	6719,7860	540,18884	241,57979
	<i>Piptocoma discolor</i>	5	2604,0120	416,29485	186,17271

**Realizado por:** Godoy, Pilar, 2021



## CONCLUSIONES

Los valores del poder calorífico a partir de la madera para *Eucalyptus globulus* es de 1064,13 kcal/kg y para *Piptocoma discolor* es de 804,61 kcal/kg, y en cuanto al poder calorífico a partir del carbón para *Piptocoma discolor* es de 2604,01 kcal/kg y para *Eucalyptus globulus* es de 6719,79 kcal/kg, teniendo en cuenta que la mayor eficiencia de poder calorífico del carbón prácticamente se duplica el valor que el de la madera en las dos especies en estudio.

El contenido de humedad de la madera para *Piptocoma discolor* es de 43,88% y para la especie de *Eucalyptus globulus* es de 38,77%, determinándose que la especie de *Piptocoma discolor* con el mayor contenido de humedad a diferencia de la otra especie en estudio.

El contenido de humedad del carbón para *Piptocoma discolor* es de 59,38% y para la especie de *Eucalyptus globulus* es de 11,43%, determinándose que la especie de *Piptocoma discolor* con el mayor contenido de humedad a diferencia de la otra especie en estudio con un valor muy bajo de contenido de humedad en carbón.

Las densidades en promedio de las 5 muestra de madera en verde de *Piptocoma discolor* fueron de 0,85 g/cm<sup>3</sup> y para la especie de *Eucalyptus globulus* 0.96 g/cm<sup>3</sup> siendo esta especie con mayor densidad en madera en verde.

Las densidades en promedio de las 5 muestras de madera en seco de *Piptocoma discolor* fueron de 0,56 g/cm<sup>3</sup> y para la especie de *Eucalyptus globulus* 0.82 g/cm<sup>3</sup> siendo esta especie con mayor densidad en madera en seco.

Las densidades en promedio de las 5 muestras de carbón de *Piptocoma discolor* fueron de 0,32 g/cm<sup>3</sup> y para la especie de *Eucalyptus globulus* 0.36 g/cm<sup>3</sup> siendo esta especie con mayor densidad en madera en seco

## **RECOMENDACIONES**

Realizar estudios con fines energéticos con especies nativas, exóticas y arbustivas de la zona y del país en general, preferentemente en función a la calidad de sitio para generar alternativas con el fin de motivar la forestación y/o reforestación, para producción con fines energéticos y otros productos.

Ejecutar nuevos estudios de especies arbóreas y arbustivas considerando su densidad, debido a que las especies de alta densidad manifiestan tener alto poder calorífico y pueden ser usados con fines energéticos, producción de leña, carbón, alcohol y gas.

Realizar estudios del carbón de especies en las que desarrollaron la determinación del poder calorífico de la madera, para hacer comparaciones y determinar si en todos los casos el poder calorífico del carbón es casi el doble que el de la madera.

## BIBLIOGRAFÍA

**ARGUETA, S.** Descripción y Análisis de dos métodos de producción de carbón vegetal. [en línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Autónoma Chapingo, Facultad de Ciencias Forestales, Especialista en Bosques Ingeniero Agrónomo, Mexico. 2006. p. 57. [Consulta: 22 de Agosto de 2021.] Disponible en: [https://departamento-de-productos-forest.webnode.es/\\_files/200001670-42329432e9/Argueta%20Spinola%20Carlos%202006.pdf](https://departamento-de-productos-forest.webnode.es/_files/200001670-42329432e9/Argueta%20Spinola%20Carlos%202006.pdf).

**BUSTAMANTE GARCÍA, V.** Evaluación del proceso de producción de carbón vegetal de residuos de *Quercus sideroxylla* Humb & Bonpl., en hornos tipo colmena brasileño. [ En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Forestales, Mexico. 2011. p. 76. [Consulta: 18 de Mayo de 2021.] Disponible en: <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/5072/20193.pdf?sequence=1&isAllowed=y.pfd>.

**CANUL, T.** Rendimiento y calidad del carbón vegetal elaborado en hornos tipo fosa con subproductos forestales. [en línea] (Trabajo de titulación).(Maestria) Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias, Linares. 2013. pp. 13-30. [Consulta: 16 de Junio de 2021.] Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3221/1/1080256611.pdf>

**CARBAJAL, C.P.** *Utilizacion industrial de especies maderables* [blog]. Peú: Carbajal, 10 de julio, 2021. [Consultado: 17 de Junio de 2021], Disponible en: [http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT\\_REPORTS/PD512.08\\_Technical report - Transformacion quimica de 10 especies de bosques secundarios.pdf](http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD512.08_Technical_report_Transformacion%20quimica%20de%2010%20especies%20de%20bosques%20secundarios.pdf).

**CASAS VILLANUEVA, C.H.** Industria Artesanal del Carbón Vegetal [en línea] ( Trabajo de titulación) Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal, Peru, Jaén. 2014. p.11. [Consulta: 13 de Julio de 2021]. Disponible en: [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/428/T\\_K50\\_C334\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/428/T_K50_C334_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**CONAF.** Producción De Carbón Vegetal a Partir De Residuos Forestales en Chile. [en línea] 2010. pp. 1-4. [Consulta: 25 de Mayo de 2021.] Disponible en: <https://www.prevencionincendiosforestales.cl/documento/produccion-de-carbon/>.

**COPANT.** *Normas Copant 458* [blog] [Consulta: 02 de agosto de 2021 ]. Disponible en: <http://materiales.azc.uam.mx/eam/Labsolidos/5NormasCopant.pdf>.

**CRUZ, B. y SIMON, C.** Poder calorífico de la madera de *Polylepis racemosa* R & P . y *Schinus molle* L . de dos procedencias [en línea] (Trabajo de titulación) Universidad del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y Ambiente, Escuela de Ingeniería Forestal, Peú, Huancayo. 2019. p.14. [Consulta: 16 de Septiembre de 2021.] Disponible en: [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5154/T010\\_47544255\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5154/T010_47544255_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**ENCINAS, E.** Guía para el uso y aprovechamiento de la biomasa en el sector forestal. [en línea] 2007. pp. 40. [Consulta: 22 de Agosto de 2021.] Disponible en: [http://onosomonte.mediorural.xunta.es/img/contenido/escuelas/documentos/guia\\_uso\\_aprovechamiento\\_biomasa\\_forestal.pdf](http://onosomonte.mediorural.xunta.es/img/contenido/escuelas/documentos/guia_uso_aprovechamiento_biomasa_forestal.pdf).

**FAO.** Métodos simples para la fabricación de carbón vegetal. [en línea], 1983, (Italia), p. 154. [Consulta: 22 de Mayo de 2021.] Disponible en: <https://www.fao.org/3/j6439s/j6439s00.htm>

**FAO.** Terminología unificada sobre bioenergía. Departamento Forestal de la FAO. [en línea], 2004, (Italia), p.13. [Consulta: 12 de Junio de 2021.] Disponible en: <https://www.fao.org/3/j6439s/j6439s00.htm>

**FLORES, F. Y QUINTEROS, S.** Diseño de horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Centroamérica José Cañas, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Mecánica, Salvador. 2008, p. 13. [Consulta: 8 de Junio de 2021.] Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/14757414/oct-2008-diseno-de-un-horno-tipo-retorta-para-elaborar-carbon-vegetal>

**GONZÁLES, E.** "Crecimiento y conservación de *Piptocoma discolor* en la Provincia de Pastaza". *Revista Cubana de Ciencias Forestales* [en línea], 2018, (Cuba) 6(3), pp. 366-379. [Consulta: 5 de Junio de 2021.] Disponible en: <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/380/pdf>

**HERGUEDAS, A., RODRÍGUEZ, E. y PANIAGUA, P.** *Biomasa, Biocombustibles Y Sostenibilidad*: Centro Tecnológico Agrario [en línea] 2012. Centro Tecnológico Agrario [Consulta: 10 de Junio de 2021]. Disponible en: [http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C Biocombustibles y Sostenibilidad.pdf](http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf).

**LEÓN, J. y ESPINOZA, N.** "Anatomía de la madera". Consejo de publicaciones de la Universidad de los Andes [en línea], 2001, ( Venezuela) Volumen (1), p. 512. [Consulta: 26 de Mayo de 2021.] ISSN 9080-11. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/306102766/Anatomia-de-la-madera-Leon-Espinoza-de-Pernia-2001>.

**MAE.** Aprovechamiento de Iso Recursos Forestales. [en línea] 2010, Quito-Ecuador. [Consulta: 12 de Mayo de 2021.] Disponible en: [http://www.ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/Aprov\\_RFE\\_0709.pdf](http://www.ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/Aprov_RFE_0709.pdf)

**MAGAP.** Programa de Incentivos para la Reforestación con fines comerciales. [en línea] 2013. pp. 1-10 [Consulta: 10 de Julio de 2021.] Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2014/06/SPF-FOLLETO-PIF-2014-050614.pdf>

**PATIÑO, F. y SMITH, R.** "Consideraciones sobre la dendroenergía bajo un enfoque sistémico". Energetica [en línea], 2008, (Medellin) 2(4), p. 17. [Consulta: 10 de Mayo 2021] ISSN 0120-9833. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147020257003.pdf>.

**RICA, C.** Determinación del poder calórico de especies forestales utilizadas como sombra de café en la cuenca alta y media del río reventazón, cartago, costa rica. [en línea] (Trabajo de titulación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Forestal, Costa Rica. 2012. p.11. [Consulta: 19 de Abril de 2021]. Disponible en: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2922/Informe\\_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2922/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**ROSETO, G. y CABRERA, E.** Determinación De La Distribucion Horizontal De Las Emisiones Producidas En Los Hornos Artesanales Para Elaboración De Carbón Vegetal En El Cantón Quevedo [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Ambientales, Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental, Quevedo. 2014. p.3. [Consulta: 09 de Mayo de 2021.] Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2086.pdf>.

**SAMAMÉ, W.** Determinación del poder calorífico de briquetas de carbón utilizando cantidades de residuos de Biomasa [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, Peru. 2017. p.20. [Consulta: 10 de Agosto de 2021.] Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10893/samame\\_gw.pdf?sequence](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/10893/samame_gw.pdf?sequence)

=1&isAllowed=y.

**TOALA MORAN, E.A.** Estudio de factibilidad para la construcción de una fábrica de briquetas de carbón utilizando tamo de arroz localizada en la Provincia del Guayas [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Industrial, Guayaquil. 2010. p. 24. [Consulta: 23 de Julio de 2021.] Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2455>

## ANEXOS

### ANEXO A: LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE CAMPO RECOLECCION DE MADERA

<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Piptocoma discolor</i>
	

### ANEXO B: LABORES REALIZADAS EN LA FASE DE LABORATORIO PREPARACION DE MATERIALES

Etiquetado de crisoles	Tarado de crisoles
 	  

**ANEXO C: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD DE LA MADERA DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor***

Preparación de muestras para toma de datos de humedad de las especies en estudio.	Toma de datos para la densidad de la madera de las especies en estudio
 	

**ANEXO D: DETERMINACIÓN DE EL MATERIAL VOLATIL A PARTIR DE LA MADERA**

Muestras antes de ingresar a la mufla	Material volátil a 900°C
---------------------------------------	--------------------------












**ANEXO E: DETERMINACION DE CENIZAS A PARTIR DE LA MADERA**



**ANEXO F: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y DENSIDAD DEL CARBÓN DE *Eucalyptus globulus* Y *Piptocoma discolor***

Humedad del carbón	Densidad del carbón - Método de la Probeta
  	   

**ANEXO G: DETERMINACIÓN DEL MATERIAL VOLATIL A PARTIR DEL CARBÓN**

Muestras de carbón antes de entrar a la mufla	Muestras después de meter a la mufla a 900°C
 	 

## ANEXO H: DETERMINACION DE CENIZAS A PARTIR DEL CARBÓN



## ANEXO I: RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DE LA MADERA DE *Piptocoma discolor*

N.º	PESO DE LA MUESTRA(g)	% HUMEDAD	DENSIDAD VERDE g/cm <sup>3</sup>	PESO EN SECO	DENSIDAD SECO	% MATERIAL VOLATIL	% CONTENIDO DE CENIZAS	% CARBONO FIJO	PODER CALORIFICO kcal/kg
1	13,75	40,80	0,81	8,14	0,56	48,73	0,29	10,18	875,21
2	15,09	40,16	0,84	9,03	0,58	49,83	0,26	9,74	840,49
3	16,77	42,99	0,87	9,56	0,59	47,89	0,23	8,88	768,96
4	16,15	54,55	0,89	7,34	0,46	37,65	0,24	7,75	650,8
5	13,64	40,91	0,83	8,06	0,59	48,46	0,29	10,34	887,59

**ANEXO J: RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DEL CARBÓN DE *Piptocoma discolor***

<b>N.º</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	<b>% HUMEDAD</b>	<b>% MATERIAL VOLATIL</b>	<b>% CONTENIDO DE CENIZAS</b>	<b>% CARBONO FIJO</b>	<b>PODER CALORIFICO kcal/kg</b>
1	10,88	58,82	7,17	1,19	32,81	2691,91
2	6,64	52,71	6,18	1,2	39,91	3273,42
3	13,38	64,42	6,58	0,75	28,25	2317,84
4	8,84	55,19	12,14	2,01	30,66	2517,6
5	9,87	65,75	5,88	1,32	27,05	2219,29

**ANEXO K: RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DE LA MADERA DE *Eucalyptus glóbulus***

<b>N.º</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	<b>% HUMEDAD</b>	<b>DENSIDAD VERDE g/cm3</b>	<b>PESO SECO</b>	<b>DENSIDAD SECO g/cm3</b>	<b>% MATERIAL VOLATIL</b>	<b>% CONTENIDO DE CENIZAS</b>	<b>% CARBONO FIJO</b>	<b>PODER CALORIFICO kcal/kg</b>
1	18,26	38,23	0,97	11,28	0,86	48,13	0,38	13,25	1124,49
2	16,33	38,58	0,96	10,03	0,83	47,83	0,37	13,23	1122,09
3	16,76	39,44	0,98	10,15	0,79	47,67	0,36	12,53	1065,2
4	16,07	38,99	0,92	9,81	0,84	49,56	0,31	11,64	994,34
5	18,17	38,58	0,98	11,16	0,82	49,31	0,22	11,89	1014,53

**ANEXO L: RESULTADOS OBTENIDOS PARA ANALIZAR EL PODER CALORIFICO DEL CARBÓN DE *Eucalyptus glóbulus***

N.º	PESO DE LA MUESTRA	% HUMEDA	% MATERIA L VOLATIL	% CONTENIDO DE CENIZAS	% CARBON FIJO	PODER CALORIFICO kcal/kg
1	13,36	7,34	8,68	0,02	83,96	6885,87
2	13,27	5,65	5,5	0,01	87,15	7146,58
3	9,93	3,32	8,06	0,01	88,61	7266,47
4	7,78	16,58	7,58	0,01	75,82	6218,25
5	12,78	24,26	1,48	0,09	74,17	6081,76

**ANEXO M: PRUEBA DE LEVENE PARA MUESTRAS INDEPENDIENTES DENSIDAD EN VERDE MADERA**

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas			Prueba T para la igualdad de medias					
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Densidad en verde g/cm3	Se han asumido varianzas iguales	,738	,415	6,295	8	,000	,11400	,01811	,07224	,15576
	No se han asumido varianzas iguales			6,295	7,551	,000	,11400	,01811	,07180	,15620

**ANEXO N: PRUEBA DE NORMALIDAD SHAPIRO-WILK DENSIDAD EN VERDE DE LA MADERA**

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Densidad en verde g/cm3	<i>Eucalyptus glóbulus</i>	,806	5	,090
	<i>Piptocoma discolor</i>	,967	5	,858

**ANEXO O: PRUEBA DE SHAPIRO-WILK DENSIDAD EN SECO DE LA MADERA**

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Densidad en seco g/cm <sup>3</sup>	<i>Eucalyptus glóbulus</i>	,984	5	,955
	<i>Piptocoma discolor</i>	,724	5	,017

**ANEXO P: PRUEBA DE SHAPIRO-WILK CONTENIDO DE HUMEDAD MADERA**

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Humedad de la madera	<i>Eucalyptus glóbulus</i>	,948	5	,721
	<i>Piptocoma discolor</i>	,695	5	,009

**ANEXO Q: PRUEBA DE LEVENE IGUALDAD DE VARIANZAS PODER CALORÍFICO**

Prueba de muestras independientes											
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas				Prueba T para la igualdad de medias				95% Intervalo de confianza para la diferencia Inferior Superior	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia			
Poder Calorífico kcal/kg	Se han asumido varianzas iguales	1,277	,291	5,069	8	,001	259,52000	51,19594	141,46194	377,57806	
	No se han asumido varianzas iguales			5,069	6,637	,002	259,52000	51,19594	137,10719	381,93281	

## ANEXO R: PRUEBA DE LEVENE Y SHAPIRO-WILK HUMEDAD DEL CARBÓN

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas				Prueba T para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Humedad	Se han asumido varianzas iguales	1,902	,205	10,27	8	,000	-47,94800	4,66571	-58,707	-37,18885
	No se han asumido varianzas iguales			10,27	6,847	,000	-47,94800	4,66571	-59,030	-36,86502

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Humedad	<i>Eucalyptus globulus</i>	,893	5	,371
	<i>Piptocoma discolor</i>	,925	5	,562

## ANEXO S: PRUEBA DE SHAPIRO-WILK DENSIDAD DEL CARBÓN

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Densidad del carbón	<i>Eucalyptus globulus</i>	,724	5	,017
	<i>Piptocoma discolor</i>	,919	5	,521

## ANEXO T: PRUEBA DE LEVENE Y SHAPIRO-WILK PODER CALORIFICO DEL CARBÓN

Pruebas de normalidad				
	Especie	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Poder Calorífico kcal/kg	<i>Eucalyptus globulus</i>	,876	5	,294
	<i>Piptocoma discolor</i>	,902	5	,423

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Poder Calorífico kcal/kg	Se han asumido varianzas iguales	1,289	,289	13,49	8	,000	4115,77400	304,99357	3412,45757	4819,09043
	No se han asumido varianzas iguales			13,49	7,512	,000	4115,77400	304,99357	3404,43060	4827,11740






**epoch**

**Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 14 / 04 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>	
<b>Nombres – Apellidos:</b> Pilar Cristina Godoy Valdiviezo	
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>	
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales	
<b>Carrera:</b> Ingeniería Forestal	
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Forestal	
<b>f. responsable:</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>CRISTHIAN FERNANDO CASTILLO RUIZ</b>



0645-DBRA-UTP-2022