

## **Determinación del poder calorífico de la especie forestal *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (tornillo)**

Determination of the calorific value of the forest species *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke (screw)

**Elyane Estefany Belito Huamani** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Susan Karina Montes Bujaico** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Merly Yadira Chávez de la Torre** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Gloria María López Yupanqui** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Diana Estrella Orellana Reyes** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Jack Brando Pérez Híjar** 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

**Ariela Madeleyne Hilario Morán**

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

<https://doi.org/10.54556/gnosiswisdom.v4i2.79>

Fecha de aceptación: 28/08/2024

Fecha de envío: 24/06/2024

### **RESUMEN**

El objetivo de este artículo es determinar el poder calorífico de la especie forestal *Cedrelinga cateniformis* D. (Tornillo). Metodología: El enfoque metodológico utilizado en el estudio fue experimental, porque se manipularon variables mientras se controlan otras variables que podrían influir en los resultados, en el laboratorio. Resultados: El peso de crisol fue de 47.16 gr. y se determinó el peso del aserrín durante 7 días, donde el peso constante es de 8.19gr, ello se realizó para poder determinar el poder calorífico de dicha especie. Se observó la anatomía microscópica de leño de *Cedrelinga cateniformis* D. Plano (A) transversal (25x), B (100x), (C) tangencial (100x), (D) radial (100x), (E) longitud (25x) y (E) ancho de fibras (400x). Finalmente, se determinó el poder calorífico obtenido de la muestra de 1 que fue de 612.42 (Kcal/100g) y la muestra 2 fue de 619.27(Kcal/100g). Conclusión: La especie *Cedrelinga cateniformis* D., conocida como tornillo, es esencial para usos de producción maderera, debido que su albura es de color rosado y duramen rojizo claro que permite que sea significativo su durabilidad, donde el poder calorífico superior promedio de la especie *Cedrelinga cateniformis* D. es de 6158.4 (Kcal/Kg), mientras que el poder calorífico inferior es de 5619.4 (Kcal/Kg).

**Palabras clave:** Tornillo, poder calorífico, aserrín.

## ABSTRACT

The objective of this article is to determine the calorific value of the forest species *Cedrelinga cateniformis* D. (Tornillo). Methodology: The methodological design used in the study was experimental, because variables were manipulated while controlling other variables that could influence the results in the laboratory. Results: The crucible weight was 47.16 gr. and the weight of the sawdust was determined during 7 days, where the constant weight is 8.19gr, this was done to determine the calorific value of this species. The microscopic anatomy of *Cedrelinga cateniformis* D. wood was observed. Plane (A) transversal (25x), B (100x), (C) tangential (100x), (D) radial (100x), (E) length (25x) and (E) fiber width (400x). Finally, the calorific value obtained from sample 1 was 612.42 (Kcal/100g) and sample 2 was 619.27(Kcal/100g). Conclusion: The species *Cedrelinga cateniformis* D., known as tornillo, is essential for wood production uses, because its sapwood is pinkish and light reddish heartwood that allows its durability to be significant, where the lower calorific value of the species *Cedrelinga cateniformis* D. is 612.42 (Kcal/100g). While the upper calorific value is 619.27 (Kcal/100g).

**Keywords:** Tornillo, heating power, sawdust.

## INTRODUCCIÓN

La energía obtenida de fuentes renovables, tales como: hidroeléctrica, la solar, la eólica y biomasa, supera a la de las fuentes convencionales como el petróleo, gas y carbón. A pesar de ello, el aprovechamiento de las energías renovables sigue siendo restringido. En los años recientes, los avances tecnológicos, el incremento de la demanda por parte de la sociedad y la reducción de los costos por la instalación, junto con la rápida recuperación de la inversión, han promovido un incremento en el empleo de fuentes de energía renovable (Leon & Zoria, 2024, p.1-79).

Los combustibles derivados de la madera constituyen alrededor del 7% del suministro energético mundial. En los países en desarrollo, esta cifra alcanza el 15%. En América Latina, la bioenergía sigue desempeñando un papel crucial en el balance de producción y consumo de energía, con un uso significativo de la madera y el carbón natural. En Perú, el uso doméstico de leña como fuente de energía ha disminuido notablemente en los últimos años, restringiéndose a áreas muy rurales y no siendo la principal fuente en los hogares, sino más bien una opción secundaria. Sin embargo, ha aumentado el interés por explorar no solo la leña, sino toda forma de biomasa (Reyes et al., 2020, p.17).

La *Cedrelinga cateniformis* D., comúnmente conocida como tornillo, es una especie arbórea autóctona de la región amazónica. Esta especie es valorada no solo por su madera de alta calidad,

utilizada en la construcción y fabricación de muebles, sino también por su potencial energético (Acosta, 2023, p. 1-82).

La evaluación del poder calorífico de esta madera es fundamental para determinar su eficiencia y viabilidad como fuente de energía renovable. El poder calorífico de una especie forestal se refiere a la cantidad de energía liberada durante su combustión, un factor crucial para su utilización en aplicaciones energéticas. Con el creciente interés en las fuentes de energía sostenibles, es esencial investigar y caracterizar las propiedades energéticas de diversas especies forestales nativas. Esto no solo contribuye a la diversificación de la matriz energética, sino que también fomenta el uso sostenible de los recursos forestales (Cuervo & Guzman, 2020, p. 1-61).

En este contexto, la investigación actual se centra en la determinación del poder calorífico de la *Cedrelinga cateniformis* D. A través de métodos estandarizados, proporcionando datos precisos y confiables que permitan evaluar su potencial como biomasa energética.

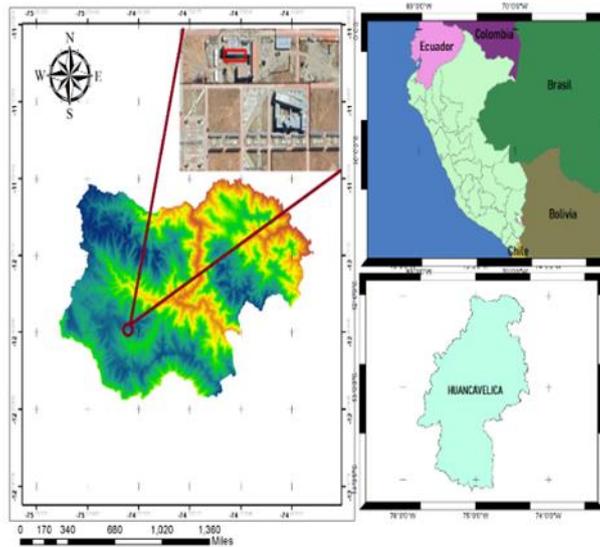
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de la investigación

Esta investigación fue llevada a cabo en el laboratorio de química de la Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental, ubicada en el distrito de Ahuaycha, Tayacaja, Huancavelica. En las siguientes coordenadas: 12°24'00.86" S y 74°53'20.18" O.

## Figura 1

### Ubicación de estudio



Nota. Elaboración propia a partir del Programa ArcMap 10.8. (2024).

### Metodología de la investigación

El diseño metodológico empleado en este estudio fue experimental, porque se manipularon variables mientras se controlan otras variables que podrían influir en los resultados, todo ello en el laboratorio (Perez, 2020, p. 13 – 15).

### Recolección de muestras

La especie seleccionada fue el tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.), porque su madera tiene una alta densidad energética, lo que significa que puede liberar una cantidad significativa de energía cuando se quema. Esto lo convierte en una fuente eficiente de biomasa para la producción de calor y energía (Jaramillo et al., 2022, p. 25).

Para obtener las muestras, se eligieron árboles maduros y saludables. La extracción se realizó de las ramas del árbol a una altura de 1.3 metros, de donde se cortó un disco de aproximadamente 8 cm de grosor (Jaramillo et al., 2022, p. 25).

### Técnicas e instrumentos de obtención de datos

#### A) Procedimientos de recolección de datos

Para determinar el porcentaje de humedad del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.), se

siguieron los procedimientos establecidos por la normativa internacional ASTM D3173. Estos procedimientos incluyen: el peso del crisol (g), el peso del crisol con las muestras húmedas (g), el peso neto de los residuos (g), el peso del crisol con los residuos secos (g), el peso neto de los residuos sin humedad (g) y el porcentaje de humedad total (Cerrón et al., 2016, p. 92 – 99).

Los procedimientos antes mencionados se realizaron de la siguiente manera:

- Se utilizó un crisol de porcelana, el cual fue etiquetado y pesado en una balanza analítica, dándonos un valor de 47.16 gramos.
- Posterior se añadió de 10 gr de aserrín de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.) y se pesó dándonos un resultado de 57.16 gramos siendo la suma del crisol y del aserrín.
- Este proceso se repetirá por 1 semana, hasta que el peso sea constante.

## B) Determinación del poder calorífico superior experimental

- Se llevó a cabo utilizando una bomba calorimétrica, y los valores obtenidos se expresaron en kcal/kg. Se pesó aproximadamente 0,2 g de muestra en una bolsita de plástico.
- Inicialmente, se registró el peso vacío de una bolsita de plástico para calcular el contenido calorífico (e3) basándose en una relación calor/peso previamente determinado. La bolsita de plástico que contenía la muestra se dobló cuidadosamente en forma de paquetes y se ató con un alambre de combustión, dejando los extremos del alambre libres.
- Las cápsulas se colocaron en el soporte de los electrodos situados en la parte superior de la cabeza de la bomba. A continuación, se cerró la bomba y la válvula ubicada en la parte superior de la misma. La bomba se llenó con oxígeno hasta alcanzar una presión de 30 atmósferas. Paralelamente, se llenó un balde con 2000 ml de agua destilada.
- El agua en el balde debía mantenerse a una temperatura aproximada de 25°C. El balde con la cantidad exacta de agua se colocó dentro del calorímetro y se sumergió la bomba calorimétrica, que estaba cargada con oxígeno y contenía la muestra, en el balde con agua.
- Se conectaron los dos enchufes de ignición en la cabeza de la bomba de oxígeno, asegurándose de que los contactos estuvieran firmemente establecidos.
- Durante todo este procedimiento, se tuvo cuidado de evitar que el agua salpicara fuera del balde, y se cerró herméticamente la tapa del calorímetro para asegurar un entorno de prueba controlado.
- Se bajó el termómetro para medir la temperatura del balde y se ajustó el control de la temperatura de la chaqueta a la posición RUN.
- Se esperó entre 4 y 5 minutos para permitir que la temperatura de la chaqueta y del balde se equilibraran. Tras este período, se registró la temperatura inicial del balde y se activó el botón de ignición durante 5 segundos, lo que inició la combustión y provocó un aumento en la temperatura del balde.
- En ese momento, se comenzaron a contar 10 minutos. Al término de este período, se anotó la temperatura final del balde. Luego, se levantó el soporte del termómetro y se abrió la cubierta del calorímetro para proceder con la siguiente etapa.
- Se desconectaron los dos enchufes de ignición y se ajustó el control de la temperatura de la chaqueta a la posición PURGE. Posteriormente, se retiró la bomba del balde con precaución.
- Se abrió la válvula en la cabeza de la bomba para liberar gradualmente el oxígeno residual. Luego, se lavó minuciosamente el interior de la bomba con agua destilada.
- El agua utilizada para el lavado se recolectó en un beaker hasta alcanzar un volumen de 200 ml. A esta solución se le añadieron 6 gotas de rojo de metilo al 0.2% y se tituló con una solución de carbonato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 0.0725 N.
- Se restó el volumen de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  utilizado del valor correspondiente al blanco (1.0 para agua destilada), y este resultado se registró

como e1 (donde 1 ml de la solución equivale a 1 cal).

- Los restos del alambre de combustión que no se quemaron se retiraron y se midieron utilizando una regla especial de 33 unidades. La longitud del alambre quemado se determinó por diferencia y se anotó como e2 (donde cada unidad equivale a 1 cal).
- Los resultados obtenidos se expresaron utilizando la fórmula establecida en la norma ASTM-D-2015-66,1972:

$$Kcal = \frac{(AT^\circ * ST) - (e1 + e2 + e3)}{\text{Peso de la muestra (ST)}}$$

**Donde:**

**AT°:** Temperatura final – temperatura inicial

**e1:** Calorías pos - titulación

**e2:** Calorías liberadas del alambre

**e3:** Calorías de la bolsita de plástico

**ST:** Es el promedio de varios Standard de ácido benzoico, 2483 Cal/°C

### C) **Determinación del poder calorífico inferior**

Se determinará a partir del poder calorífico superior (Castro et al., 1999, p.129 – 138).

Los resultados se expresan en la siguiente fórmula:

$$PCI = PSC - CV$$

**Donde:**

**PCI:** Poder calorífico inferior (kcal/Kg)

**PCS:** Poder calorífico superior (kcal/Kg)

**CV:** Calor de vaporización (539 kcal/Kg constante)

### **POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población serán los 100 gramos de aserrín del árbol de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.).

La muestra será los 10 gramos utilizados de aserrín del árbol de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.).

### **Descripción de la especie**

En la tabla 1 que se presenta a continuación, se describen en detalle las características organolépticas y físicas de la especie forestal *Cedrelinga cateniformis* D.

**Tabla 1**

*Propiedades organolépticas y físicas del Tornillo (Cedrelinga cateniformis D.)*

<b>Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i> D.)</b>		
Propiedades organolépticas	Color	Castaño pálido
	Textura	Gruesa
	Brillo	Medio
	Grano	Entrecruzado
	Veteado	No muy diferenciado, tres anillos por un aproximado de cada 2.5 cm de radio
Propiedades físicas	Olor	Distintivo
	Densidad Básica	0.45 gr/cm <sup>3</sup>
	Contracción Volumétrica	10.65%
	Relación T/R	2.2%
	Contracción Tangencial	6.90%
	Contracción Radial	3.17%

Fuente. (Fernández et., 2019)

## RESULTADOS

En la figura 2 se muestra el peso del crisol con el aserrín el tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.), obteniéndose los siguientes datos: Peso de crisol 47.16 gramos y la muestra 10 gramos.

### Figura 2

Control de peso del aserrín



Nota. Elaboración propia, 2024. Determinación del peso del aserrín del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.) en 1° día.

### Tabla 2

Determinación del peso del aserrín del tornillo (*Cedrelinga cateniformis* D.) en 7 días

Especie (aserrín)	Días	Peso (gr)
	1	10
	2	9.29
	3	9.27
	4	9.25
<i>Tornillo (Credelinga cateniformis D.)</i>	5	8.59
	6	8.59
	7	8.48

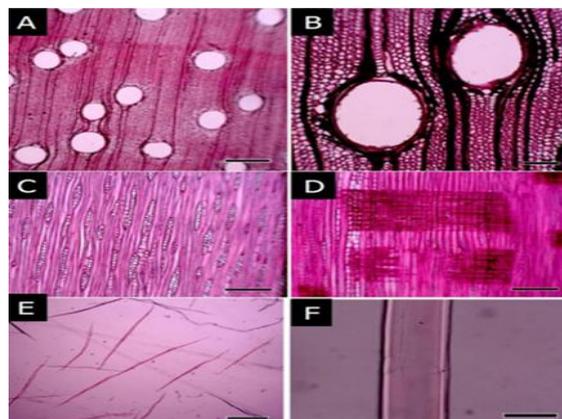
Fuente. Elaboración propia, (2024).

En la tabla 2 nos muestra el peso del aserrín de las ramas de la especie forestal *Cedrelinga cateniformis* D. que se realizó durante 7 días de la semana, para

ello el peso constante es de 8.59gr. Ello se realizó para poder determinar el poder calorífico de dicha especie.

### Figura 3

Anatomía microscópica



Nota. Anatomía microscópica de leño de *Cedrelinga cateniformis* D. Plano (A) transversal (25x), B (100x), (C) tangencial (100x), (D) radial (100x), (E) longitud (25x) y (E) ancho de fibras (400x). Elaboración propia, 2024.

En la figura 3 se muestra los vasos difusos en el plano transversal, los cuales tienen un contorno entre ovalado y circular, una media de 1,5 vasos/mm<sup>2</sup>, un área de 9, 21%, y un diámetro de casi 273 μm. Estos vasos difusos pueden clasificarse en apéndices grandes y ausentes, placas de perforaciones radiovasculares y aréolas distintas y más pequeñas que se asemejan a las intervasculares. Las paredes de las fibras libiformes varían en grosor de finas a

gruesas, midiendo una media de 5,07 μm y 1,33 mm de longitud. El parénquima axial de las fibras tiene un lumen medio de 16,30 μm y es principalmente vasocéntrico paratraqueal, con seis a ocho células de parénquima por serie. El eje longitudinal muestra parénquima axial apotraqueal difuso, que se produce típicamente por series. Las células procumbentes, que son principalmente de dos series (72%), son la única fuente de rayos homogéneos.

**Tabla 5**

*Determinación del poder calorífico superior e inferior de (Cedrelinga cateniformis D.)*

Especie	Tipo de poder calorífico	Valor de poder calórico (Kcal/kg)
(Muestra 1) <i>Cedrelinga cateniformis D.</i>	<i>Poder calorífico inferior</i>	5619.4
(Muestra 2) <i>Cedrelinga cateniformis D.</i>	<i>Poder calorífico superior</i>	615.84

Nota. Elaboración propia, 2024.

En la tabla 5 se evidencia el poder calorífico inferior de la especie *Cedrelinga cateniformis D.* donde nos dio un valor de 5 619.4 (Kcal/kg), realizando el siguiente proceso:

- Muestra 1: 612.42 (kcal/100gr).
- Muestra 2: 619.27 (kcal/100gr).
- Promedio: 615.8 (kcal/100gr).

Convertir a: Kcal/Kg

$$615.84 \text{ (kcal/100gr)} \times 10 = 6158.4 \text{ (Kcal/Kg)}$$

Desarrollar la fórmula:  $PCI = PCS - CV$

$$PCI + CV = PCS$$

$$PCI = PCS - CV$$

$$PCI = 6158.4 - 539$$

$$PCI = 5619.4 \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right)$$

## DISCUSIÓN

Según Cruz, (2019), en su investigación titulada “Poder calorífico de la madera de *Polylepis racemosa* R & P. y *Schinus molle* L. de dos procedencias”, menciona que llevaron a cabo su estudio utilizando un tipo de investigación aplicada de nivel no experimental, empleando un diseño de clasificación jerárquico, donde los valores obtenidos para el poder calorífico superior fueron: AI= 4348,48 Kcal/Kg,

AII= 4531,90 Kcal/Kg, concluyendo que ambas especies tienen un alto poder calorífico. En comparación con nuestro estudio, se evidencia que la especie forestal *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) nos da un resultado de 5619.4 (Kcal/g) respecto a su poder calorífico inferior, dando buenos resultados, a lo que se estima que poniendo en práctica ayudará en gran suma al combustible empleado por la sociedad en diversos usos como en la cocina a leña, entre otros.

Santos, (2020) afirma que en su trabajo titulado «Determinación del poder calorífico de tres especies de coníferas de bosque templado en México», se recolectaron muestras de cada una de las tres Pinaceae económicamente significativas en Durango (*Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren, y *Pinus engelmannii* Carr.) con el fin de evaluar su potencial energético. Tras ser entregadas en el laboratorio, estas muestras fueron examinadas para determinar su contenido en humedad, materia volátil, carbono fijo, cenizas y poder calorífico. La especie *Pinus cooperi* (PC), con 10213,25 kJ/kg, demostró tener un potencial calorífico significativamente mayor que *Pinus durangensis* (9824,90 kJ/kg) y *Pinus engelmannii* (8458,84 kJ/kg) *Pinus cooperi* también mostró valores de contenido de humedad (CH) superiores. En cuanto al contenido de volátiles (CV), *P. engelmannii* presentó el mayor porcentaje con 64.16%, seguido de *P. duranguensis* con 62.92%, mientras que *P. cooperi* tuvo el menor porcentaje con

59.97%. En comparación con nuestra investigación, en la especie *Cedrelinga cateniformis* D. el poder calorífico en los 7 días pudo ser mayor a comparación de otras especies analizadas, esto debido a que el poder calorífico inferior del tornillo da como resultado de 5619.4 (Kcal/g).

En la investigación de Barrera et al, (2021) titulada «Maderas de zonas áridas de México, valor calorífico por ATG-ATD y bomba calorimétrica», mencionan el valor calorífico de varias maderas rurales comunes para calefacción y cocina, entre ellas huizache (*Acacia farnesiana*), maguey (*Agave salmiana*), nopal (*Opuntia streptacantha*), garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformes* D.). Para determinar los valores caloríficos se utilizó una bomba calorimétrica de combustión, la técnica de análisis térmico diferencial, ATG-ATD, y técnicas de análisis térmico gravimétrico. En conjunto, los resultados demostraron que el valor calorífico determinado mediante análisis (ATG-ATD) es sistemáticamente inferior, en términos marginales, al determinado mediante calorimetría de bomba. En comparación con nuestro trabajo, la especie *Cedrelinga cateniformis* D. presentó un resultado de 5619.4 (Kcal/100g) poder calorífico inferior y 6158.4 (Kcal/100g), poder calorífico superior, mediante el desarrollo de la siguiente fórmula  $PCI=SC - CV$  que nos brinda la bomba calorimétrica.

Según el estudio de Poder calórico de la madera y del carbón procedente de plantaciones de diferentes edades de Simarouba amara Aublet “marupa” y *Cedrelinga cateniformis* Ducke “tornillo”, Iquitos, Perú, Acho, (2013) complementa el análisis técnico del poder calorífico del tornillo con un enfoque en la densidad de la madera y el rendimiento del carbón. Se encuentran diferencias significativas en el poder calorífico del carbón producido a partir de tornillo y marupa. El carbón de tornillo de más de 30 a 40 años muestra un poder calorífico de 6 518.26 kcal/kg, comparado con 6 722.82 kcal/kg del carbón de marupa. Además, el análisis térmico gravimétrico (TGA) revela que el tornillo tiene una mayor estabilidad térmica y menor pérdida de masa durante la combustión (p. 1-60). Estos resultados indican que, aunque el poder calorífico del tornillo es ligeramente inferior, su estabilidad térmica lo convierte en una opción viable para aplicaciones que requieren combustión prolongada y constante. Este hallazgo es

crucial para optimizar el uso del tornillo en diferentes procesos energéticos.

Por otro lado, el autor Rosales, (2007) realizó un análisis exhaustivo del poder calorífico del tornillo (*Cedrelinga cateniformes* D.) mediante pruebas técnicas detalladas. En su estudio, se observa que el contenido de humedad es un factor determinante en el poder calorífico. Las muestras con un contenido de humedad del 15% presentan un poder calorífico superior de 5238.10 kcal/kg, en comparación con 4800.20 kcal/kg en muestras con un 20% de humedad. Además, se mide el poder calorífico bruto y neto, encontrando que el poder calorífico bruto del tornillo varía entre 20.87 MJ/kg y 21.93 MJ/kg, mientras que el poder calorífico neto varía entre 19.45 MJ/kg y 20.23 MJ/kg (Condori, 2027, p. 52). Estos resultados subrayan la importancia de controlar el contenido de humedad y otras variables para maximizar la eficiencia energética del tornillo como biocombustible. La variación del poder calorífico con diferentes contenidos de humedad indica que el tornillo puede ser una fuente de energía más eficiente cuando se maneja adecuadamente el secado de la madera.

De acuerdo Quirino et al., (2005) en su investigación titulada “Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos”, hacen mención que realizaron un levantamiento de información bibliográfica del poder calorífico de especies forestales en la selva brasileña, ya que determinaron que la madera como combustible, tienden a ser el proceso más simple como económico para así obtener energía, a su vez los análisis obtuvieron que la especie *Cedrelinga cateniformis* contendrá un poder calorífico de (4.746 kcal/kg), mientras que en densidad básica contendrá (0,46 g/cm<sup>3</sup>) una de las 108 especies que analizaron con mayor poder calorífico (pp.100 - 106). Haciendo comparación con nuestro trabajo el poder calorífico inferior es de 5 619.4 (Kcal/g) entonces se podría mencionar que nuestra muestra obtenida contendrá mayor poder calorífico y que gracias a esto podrá ser una fuente de energía más eficiente para nosotros.

Por otro lado, el autor Boada & Vargas, (2015) en su investigación titulada “Caracterización físico-química de pellets producidos a partir de mezclas 50/50 carbón bituminoso/madera residual” hace referencia que en Colombia alrededor los biocombustibles que van a poder comercializarse

corresponden al 4.42% presentados en pellets y aglomerados, las cuales realizaron un estudio de las características que propone la biomasa para originar combustibles sólidos con pellets en proporción de 50/50 de carbón y madera de tornillo, dando como resultado un poder calorífico de 24.2 (mj/kg) realizando la conversión da 5 780.07 (Kcal/g) , a comparación de otras maderas estudiadas sin ser mezcladas (pp. 18 - 25). En nuestro trabajo realizado nos da un valor de 5 619.4 (Kcal/g) donde se puede mencionar que es fundamental para el uso de biocombustibles, ya que permite obtener una gran cantidad de energía con una pequeña cantidad de combustible, lo que se conoce como densidad energética.

### CONCLUSIONES

La especie *Cedrelinga cateniformis* D., comúnmente conocida como tornillo, es esencial para usos de producción maderera, ya que, su albura es de color rosado y duramen rojizo claro, lo cual hace que sea significativo en su durabilidad.

A su vez se observó que el contenido de humedad, impacta de gran manera en el poder calorífico superior, ya que dio como resultado promedio de las muestras 615.845 Kcal/100g (6158.4 Kcal/Kg), mediante el uso de bomba calorimétrica, además, aquí se ve la importancia de un buen secado para que el poder calorífico sea mayor.

Donde la alta densidad y la composición química de *Cedrelinga cateniformis* D., contendrá un notable contenido de lignina y celulosa, que son factores clave que explican su elevado poder calorífico. Estos componentes son fundamentales para comprender su capacidad energética.

Realizando el procedimiento de la fórmula:  $PCI=PCS-CV$ , el poder calorífico inferior de la especie *Cedrelinga cateniformis* D. es de 5619.4 (Kcal/Kg).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acho Zevallos, Y. G. (2013). Poder calorífico de la madera y del carbón procedente de plantaciones de diferentes edades de Simarouba amara Aublet “marupa” y *Cedrelinga cateniformis* Ducke “tornillo”, Puerto Almendras, Iquitos, Perú (p. 1-60).
- Acosta Naranjo, J. A. (2023). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de Seique (*Cedrelinga Catenaeformis*) proveniente del cantón Tena provincia de Napo y su factibilidad como elemento estructural de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil). p. (1-82).
- Barrera-Calva, E., Martínez, G., Rosas-Cedillo, R., & Rentería-Tapia, V. (2021). Maderas de zonas áridas de México, poder calorífico por ATG-ATD y mediante bomba calorimétrica. *Madera y bosques*, 27(3).
- Boada, L. E. A., & Vargas, F. E. S. (2015). Caracterización físico-química de pellets producidos a partir de mezclas 50/50 carbón bituminoso/madera residual. *Informador técnico*, 79(1), 18-25.
- Castro, R., Suárez, J., & Eimil, F. M. (1999). Evaluación del poder calorífico superior en biomasa. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 8(1), 129-138.
- Condori Rosales, C. A. (2007). Propiedades mecánicas de *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo) proveniente de dos tipos de

- plantaciones y diferentes edades del Centro de Investigación Jenaro Herrera-Loreto (p. 52).
- Cruz De La Torre, B. B., & Simon Villanueva, C. (2019). Poder calorífico de la madera de *Polylepis racemosa* R & P. y *Schinus molle* L. de dos procedencias. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5154/T010\\_47544255\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5154/T010_47544255_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cuervo Contreras, J. S., & Guzman Borda, J. A. (2020). Determinación del potencial energético de la biomasa residual forestal (BRF) y de cultivos energéticos (BRCE) en las amazonas colombo-brasileño. p. (1-61).
- Fernandez, F. H., León, J. A., Huaccha, A. E., & De los Ríos, F. F. A. (2019). Propiedades organolépticas, físicas y mecánicas de la madera de *Cordia alliodora* (R. y P.) Oken de parcelas agroforestales en Jaén, Cajamarca. *Revista Científica Pakamuros*, 7(1). <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/405/F50.C7-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8581/Yury\\_Tesis\\_Titulo\\_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8581/Yury_Tesis_Titulo_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jaramillo, F. E., Alvarado, P. N., & Mazo, R. A. (2022). Torrefacción de biomasa en un reactor de tornillo a escala de banco: efecto de la temperatura y del tipo de biomasa. *TecnoLógicas*, 25(54).
- Leon Lucero, L. F., & Zoria Lojano, J. P. (2024). Estudio de factibilidad para el uso de un sistema híbrido con energía eólica, solar FV, generadores diésel y baterías en el área de Irquis-Sector Tarqui (Bachelor's thesis). p.1-79.
- Perez Angulo, J. M. (2020). Efecto del contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada de capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth); con el poder calorífico del carbón vegetal producido en el prototipo del proyecto: Fincyt-jk maderas export SA-UNU, departamento de Ucayali, 2018.
- Quirino, W. F., Vale, A. D., Andrade, A. D., Abreu, V. L. S., & Azevedo, A. D. S. (2005). Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. *Revista da madeira*, 89(100), 100-106.
- Reyes, R., Sanhueza, R., Schueftan, A. 2020. Consumo de combustibles derivados de la madera en la región de O'Higgins: El desconocido rol de frutales y viñas en el abastecimiento regional de energía. En: Informes técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad, Año 6. N° 11. Enero 2020. Observatorio de los Combustibles Derivados de la Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. 17 p.
- Santos Sánchez, J. M. (2020). Determinación del poder calorífico de tres especies de coníferas de bosque templado de México *Pinus cooperi* C. Blanco, *Pinus durangensis* Ehren y *Pinus engelmannii* Carr (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León). <http://eprints.uanl.mx/19730/>