

Poder calorífico de la especie *Pinus radiata* D. Don para mejora de la fabricación de pellets en el Distrito de Acraquia – Tayacaja-Huancavelica

Calorific value of *Pinus radiata* D. Don species to improve pellet production in the District of Acraquia - Tayacaja - Huancavelica

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

Wilson Carlos Pariona Gonzales 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

Efraín Méndez Felix 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

Juan Luis Paitan Crispín 

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Perú

Marco Antonio Ortiz Cuicapuza 

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.v4i2.78>

Fecha de aceptación: 28/08/2024

Fecha de envío: 24/06/2024

RESUMEN

Este estudio se centró en determinar el poder calorífico de la madera de *Pinus radiata* D. Don, una especie forestal con potencial como biomasa energética que puede emplearse en la producción de pellets. La investigación se realizó en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Forestal y Ambiental, siguiendo la metodología de la norma ASTM-D-2015-66, 1972 para determinar el valor de poder califico experimental, donde se obtuvieron resultados principales como son el: contenido de humedad: 15.38%, Poder calorífico superior experimental (muestra P-01: 4227.4 Kcal/kg y Muestra P-02: 4321.3 Kcal/kg) y el poder calorífico inferior (muestra P-01: 3688.4 Kcal/kg y muestra P-02: 3782.4 Kcal/kg) en base a ello se llegó a la conclusión de que la muestra la muestra P-02 mostró el mayor poder calorífico, ya que el contenido de humedad influye en la eficiencia energética del material, estos indica que el *Pinus radiata* D. Don tiene un potencial significativo como fuente de biomasa energética.

Palabras clave: Poder calorífico, *Pinus radiata* D. Don, Biomasa.

ABSTRACT

This study focused on determining the calorific value of *Pinus radiata* D. Don wood, a forest species with potential as energy biomass that can be used in the production of pellets. The research was carried out in the chemistry laboratory of the Forestry and Environmental Engineering career, following the methodology of the ASTM-D-2015-66, 1972 standard to determine the experimental calorific value, where the main results were obtained such as: moisture content: 15.38%, Experimental higher calorific value (sample P-01: 4227.4 Kcal/kg and Sample P-02: 4321.3 Kcal/kg) and the lower calorific value (sample P-01: 3688.4 Kcal/kg and sample P-02: 3782.4 Kcal/kg) based on this it was concluded that the sample P-02 showed the highest calorific value, since the moisture content influences the energy efficiency of the material, these indicates that *Pinus radiata* D. Don has a significant potential as a source of energy biomass.

Keywords: Calorific power, *Pinus radiata* D. Don, Biomass.

INTRODUCCIÓN

El interés por utilizar biomasa vegetal con fines energéticos está en constante crecimiento, a lo que contribuye el hecho de que es una de las soluciones clave propuestas por la Comisión Europea para reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados y mejorar así la seguridad del suministro energético en el largo plazo. El interés por la biomasa y los biocombustibles producidos a partir de ella también se debe a la promoción más amplia de las fuentes de energía renovables, que va asociada a la modernización de los edificios para mejorar su eficiencia energética, que se basa en la optimización de las fuentes de calor utilizadas en los mismos. Durante este trabajo se están popularizando las instalaciones híbridas que utilizan diversas fuentes de energía renovables. Estos trabajos también pretenden contribuir a reducir la intensidad de las emisiones de los edificios (Dula et al., 2024) (p. 2)

Los biocombustibles sólidos, especialmente los de origen maderero, frente a los combustibles fósiles, además de bloquear el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, también ayudan a reducir las emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno. Sin embargo, este aspecto depende en gran medida de las condiciones de combustión, la regulación activa del proceso de combustión, el sistema de combustión y el tipo de combustible (composición química) y su forma, lo cual está ampliamente reportado en la literatura sobre el tema. Sin embargo, estos trabajos de investigación señalaron en gran medida las ventajas de las propiedades de los biocombustibles leñosos y su impacto en el proceso de combustión,

depreciando en cierta medida la biomasa herbácea (Dula et al., 2024) (p.10-33)

Los pellets se producen principalmente a partir del aserrín de coníferas o de árboles de hoja caduca a partir de tallos descortezados. Esta materia prima proporciona la mejor calidad posible dado su alto contenido en lignina, que tiene una fuerte unión y un alto poder calorífico. Los pellets elaborados a partir de biomasa herbácea deberían permitir alcanzar los mismos estándares de calidad en términos de características físicas y, si es posible, químicas, que los pellets elaborados a partir de serrín de madera. Las preocupaciones más comunes a la hora de producir pellets a partir de materias primas alternativas son la baja densidad aparente y la resistencia mecánica, pero también el contenido de cenizas y, en algunos casos, la presencia de nitrógeno, azufre y cloro. En comparación con la biomasa no densificada, los pellets se caracterizan por una menor humedad, un mayor poder calorífico, una forma uniforme, una combustión clara y una reducción de las cenizas (Dula et al., 2024) (p.4)

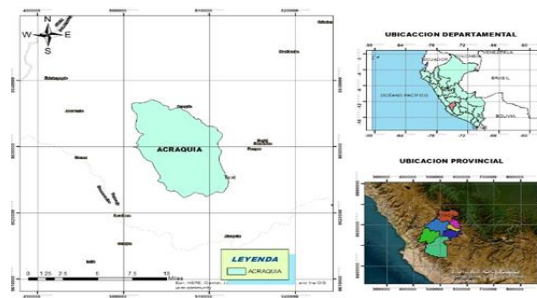
Por esta razón, el objetivo es dar a conocer los poderes caloríficos de la especie forestal pino originaria de la localidad de Ahuaycha, así como ofrecer métodos estandarizados que brinden datos precisos y confiables para evaluar su potencial como biomasa energética.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el laboratorio de química de la carrera de Ingeniería Forestal y Ambiental.

Figura 1

Ubicación del área de estudio



El poder calorífico de la madera de *Pinus radiata* D. Don se determina utilizando un calorímetro de bomba, lo que permite realizar observaciones directas y mediciones cuantitativas, así como controlar variables para obtener resultados reproducibles. Este método calcula tanto el Poder Calorífico Superior (PCS), que incluye el calor latente del vapor, como el Poder Calorífico Inferior (PCI), que no lo considera.

El *Pinus radiata* D. Don tiene una densidad energética considerable que lo hace útil como fuente de biomasa, siendo eficiente para la producción de calor y energía. Aunque su densidad energética es menor que la de maderas más densas como el roble o el haya, sigue siendo una opción viable en aplicaciones de biomasa. Por esta razón, se obtuvieron muestras de árboles maduros,

enfocándose principalmente en una sección de los troncos

Técnicas e instrumentos de obtención de datos

a. Procedimientos de recolección de datos

Se utilizó la normativa ASTM D3173 para determinar el porcentaje de humedad en material sólido de pino, asegurando un secado adecuado y el pesaje de los residuos. Para obtener resultados consistentes, se repitió el proceso durante una semana, excluyendo sábados y domingos. Los procedimientos incluyeron: pesaje del crisol, que fue de 41.42 g, y luego se taró y se añadió el peso del crisol con la muestra, que totalizó 55 g. y su respectiva codificación. Se continuó con estos pasos hasta lograr una muestra constante (Fig. 2).

Figura 2

Pesaje de las muestra y crisol



Nota: Pesaje de la muestra pino (a) y pesaje de crisol (b)

1. Determinación del poder calorífico superior experimental
 - Se llevó a cabo un experimento en una bomba calorimétrica, registrando los valores en kcal/kg. Se pesó aproximadamente 0.2 g de muestra en una bolsa de plástico, anotando

- previamente la tara de la bolsa para determinar el contenido calorífico (e3) según una relación cal/peso establecido.
- La bolsa con la muestra se dobló en forma de paquete y se ató con alambre de combustión, dejando los extremos libres. Las cápsulas se

colocaron en el soporte de cada electrodo de la bomba, que luego se cerró junto con la válvula en la parte superior. Se llenó la bomba con oxígeno a una presión de 30 atmósferas, mientras que un balde con 2000 ml de agua destilada se preparaba a aproximadamente 25 °C. El balde con el agua se sumergió en el calorímetro, junto con la bomba cargada de oxígeno y la muestra. Se conectaron los dos enchufes de ignición en la cabeza de la bomba, evitando salpicaduras de agua.

- Luego, se cerró la cubierta del calorímetro y se bajó el termómetro para medir la temperatura del balde. Se ajustó el control de temperatura de la chaqueta en posición RUN y se esperó de 4 a 5 minutos para equilibrar las temperaturas, anotando la temperatura inicial del balde. Después, se presionó el botón de ignición durante 5 segundos, lo que provocó un aumento en la temperatura del balde. Se inició un conteo de 10 minutos y, al final de este tiempo, se registró la temperatura final. Se retiraron los enchufes de ignición, se cambió el control de la chaqueta a posición PURGE y se sacó la bomba del balde. Se abrió la válvula de la bomba para liberar gradualmente el oxígeno residual y se lavó cuidadosamente el interior de la bomba con agua destilada, recolectando el lavado en un beaker hasta completar 200 ml. Se añadieron 6 gotas de rojo de metilo al 0.2% y se tituló con una solución de carbonato de sodio (Na₂CO₃) 0.0725 N. Se restó el consumo de Na₂CO₃ y el valor correspondiente al blanco (agua destilada), registrando el resultado como e1 (1 ml de solución = 1 cal).
- Se retiraron los restos de alambre de combustión no quemados y se midió su

longitud total con una regla especial de 33 unidades.

- Por diferencia, se determinó la longitud del alambre quemado, anotándose como e2 (cada unidad corresponde a 1 cal), conforme a la norma ASTM-D-2015-66, 1972.

Los resultados se expresaron utilizando la fórmula correspondiente.

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

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.

2. Determinación del poder calorífico inferior

Se determinará a partir del poder calorífico superior.

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)

Tabla 1

Propiedades físicas de Pinus radiata D. Don

PROPIEDAD FÍSICA	RESULTADO
Densidad en Seco	0.48 gr/cm ³
Contracción tangencial	5.2%
Contracción radial	3.0%
Contracción volumétrica	1.73%

Nota: En la tabla se muestra la propiedad física expresada en porcentajes a nivel de contracción.

Fuente: (Cóndor & Pardo, 2021)

Tabla 2

Propiedades organolépticas del Pinus radiata

PROPIEDAD ORGANOLÉPTICO	RESULTADO
Color	Albura blanca.
Veteado	Suave con líneas longitudinales.
Grano	Recto
Textura	Fina
Olor	Está originado por sustancias colorantes, xilócromas, depositadas en el interior de las células constitutivas de los tejidos que impregnan al mismo tiempo las paredes celulares. Entre estas sustancias pueden citarse las resinas, gomas, gomo-resinas, derivados tánicos, colorantes como la morina, etc.

Fuente: (Córdor & Pardo, 2021)

Descripción macroscópica

Duramen de color pardo amarillento y para la albura blanco amarillento, brillo mediano, textura media, veteado, arcos superpuestos, grano recto, sabor no distintivo. Canales resiníferos visibles a primera vista, radios finos visibles con lupa de 10X (Córdor & Pardo, 2021) (p.120)

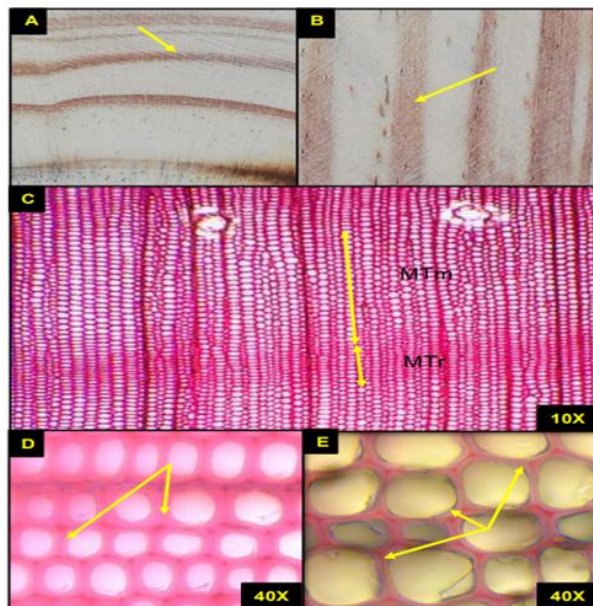
Descripción microscópica

Transición de madera temprana a madera tardía gradual, alineamiento de las punteaduras uniseriadas,

extraíbles orgánicos presentes (resina), espesor de pared de traqueidas del leño tardío finas, contorno de traqueidas hexagonales y heptagonales e internamente entre circular y ovalado, radios mayormente uniseriados y ocasionalmente biseriados, altura de células promedio 13 considerada como medianos, número de radios promedio 5 por ml, de 1-2/cdc punteaduras por campo de cruzamiento de tipo pinoide, presencia de canales resiníferos (pocos) (Córdor & Pardo, 2021) (p.122)

Figura N° 3

Sección transversal de Pinus radiata



Nota: Se muestra imágenes microscópicas del *Pinus radiata* D. Don, donde la sección A Y B son los anillos de crecimiento, en la C se encuentra la madera temprana, D y E son leños tardíos que tienen contornos de traqueidas hexagonales y heptagonales.

Tabla 4

Composición química de P. radiata D. Don

Componentes Químicos	CH	Ext. Agua Fría	Ext. Agua Fría	Ext. Alcohol Benceno	Celulosa	Lignina
Porcentaje (%)	9.29	2.95	2.28	2.86	40.50	23.33

Nota: CH= Contenido de humedad, Ext= Extractivos.

Fuente: (Cóndor & Pardo, 2021)

RESULTADOS

Tabla 4

Resultado de secado de aserrín del Pinus radiata D. Don.

Código de muestra por día	Resultado (gramos)
PM-01	6.00 g
PM-02	5.41 g
PM-03	5.40 g
PM-04	5.30 g
PM-05	5.32 g
PM-06	5.31 g
PM-07	5.20 g

Nota: PM-01(Peso de muestra día 1), PM-02(Peso de muestra día 2), PM-03(Peso de muestra día 3), PM-04(Peso de muestra día 4), PM-05(Peso de muestra día 5), PM-06(Peso de muestra día 6) y PM-07(Peso de muestra día 7).

En la tabla 4 se muestra el resultado de secado de aserrín de *Pinus radiata* D. Don en la estufa a 105 °C que permite obtener el peso libre de agua, para determinar los pesos se procedió secado de las muestras en crisol este proceso se repite durante 7

días, teniendo el peso mínimo del secado que es 5.20 g de los 6.00 g. Finalmente, se procedió hallar el contenido de humedad CH= 15.38% durante el sacado de aserrín *Pinus radiata* D. Don.

Tabla 5

Resultado del poder calorífico experimental

Muestra	Valor calorífico (Kcal/100g)	Valor calorífico (Kcal/kg)
P-01	422.74	4227.4
P-02	432.13	4321.3

Nota: Kcal/100g: Kilocalorías sobre 100 gramos y Kcal/kg: Kilocalorías sobre kilos.

Los resultados muestran el poder calorífico experimental las dos muestras *Pinus radiata* D. Don donde la primera muestra tiene valor calórico de 4227.4 Kcal/kg y la segunda muestra tiene 4321.3 Kcal/kg, sin embargo, el valor de las unidades en Kcal/100g se convierten en Kcal/kg para poder hallar el calor inferior. Finalmente, podemos observar que

la muestra P-02 tiene mayor capacidad de valor calorífico proveniente del aserrín de *Pinus radiata* D. Don.

Tabla 6

Resultado del poder calorífico inferior

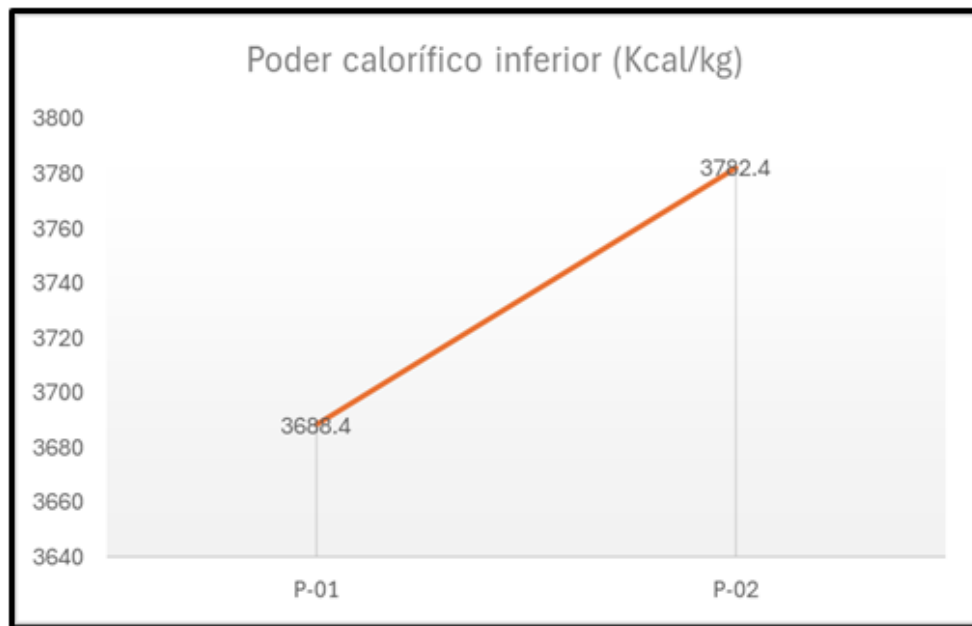
Muestra	Poder calorífico inferior (Kcal/kg)
P-01	3688.4
P-02	3782.4

Nota: P-01: Prueba 01 y P-02: Prueba 02

En la tabla 6 se muestra los resultados del poder calorífico inferior del *Pinus radiata* D. Don teniendo en cuenta que la P-02 es 3782.4 Kcal/kg tiene mayor poder calorífico con relación a P-01 que resulta 3688.4 Kcal/kg.

Figura 4

Variación de poder calorífico inferior entre las dos muestras



Nota: El grafico representa la variación de las muestras experimentales de poder calorífico teniendo diferencia entre 94 Kcal/kg de la especie *Pinus radiata* D. Don

En la figura 4 se muestra la variación entre las dos muestras del poder calorífico del residuo de madera de *Pinus radiata* D. Don teniendo 94 Kcal/kg diferencia entre las dos muestras halladas de manera experimental, para luego ser procesado de manera teórica.

DISCUSIÓN

Considerando que la materia prima de este producto logrado tiene un contenido de humedad entre 8 a 12 %, obteniendo una eficiencia energética de 4672,45 Kcal/kg como poder calorífico superior, en consecuencia, la combustión de briquetas contribuye a disminuir las concentraciones de CO₂, SO_x y NO_x causantes del efecto invernadero y el cambio climático (Gallipoliti et al., 2022). (p.22) Por otro lado, en nuestro resultado el 15.38% de contenido de

humedad y la eficiencia energética es de 3782.4 Kcal/kg del poder calorífico inferior, pero los resultados experimentales muestran que 4321.3 Kcal/kg de poder calorífico es decir que existe una diferencia de 351.15 Kcal/kg esto se debe al nivel de contenido de humedad que es 15.38%, puesto que la investigación que tiene mejor eficiencia es que se realizó con otro tipo de método y son ensayos implementados en briquetas y son se aplicamos directamente al factor de cambio climático.

CONCLUSIONES

El poder calorífico de la madera de *Pinus radiata* D. Don ha revelado su considerable potencial como fuente de biomasa energética, destacando su viabilidad en la producción de energía renovable. Los resultados obtenidos, que indican un contenido de humedad del 15.38% y valores de poder calorífico superior que oscilan entre 4227.4 Kcal/kg y 4321.3 Kcal/kg, demuestran que esta especie puede ser una opción efectiva para contribuir a la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Además, la aplicación de metodologías estandarizadas, como la norma ASTM D-2015-66, garantiza la fiabilidad de los datos obtenidos. Este trabajo no solo proporciona información valiosa para la gestión sostenible de los recursos forestales, sino que también abre la puerta a futuras investigaciones sobre el uso de *Pinus radiata* en sistemas energéticos, promoviendo así un enfoque más ecológico en la producción de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cóndor, J., Pardo, O. (2021). Caracterización de la anatomía, propiedades físico-mecánicas y químicas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. – Cajamarca [Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7045>
- Domingos, I., Ayata, U., Ferreira, J., Cruz-Lopes, L., Sen, A., Sahin, S., & Esteves, B. (2020). Calorific power improvement of wood by heat treatment and its relation to chemical composition. *Energies*, 13(20). <https://doi.org/10.3390/en13205322>
- Dula, M., Kraszkiwicz, A., & Parafiniuk, S. (2024). Combustion Efficiency of Various Forms of Solid Biofuels in Terms of Changes in the Method of Fuel Feeding into the Combustion Chamber. *Energies*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/en17122853>
- Fernández, J., et al. (2020). "Evaluación del potencial energético de la biomasa de pino." *Revista de Energía Renovable*, 15(2), 45-52.
- Gallipoliti, V., Martina, P., Aeberhardt, R., & García Sola, E. (2022). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente - AVERMA*, 35–40. Recuperado a partir de <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/2369>
- García, M., et al. (2021). "Influencia del tratamiento térmico en el poder calorífico de la madera de pino." *Journal of Wood Science*, 67(3), 123-130.
- López, R., et al. (2022). "Optimización de la carbonización de residuos de pino para mejorar el poder calorífico." *Biomass and Bioenergy*, 150, 106-112.
- Martínez, A., et al. (2023). "Propiedades físico-químicas de la madera de pino y su relación con el poder calorífico." *Energy Reports*, 9, 234-240.