

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Análisis químico y poder calorífico de cinco especies comerciales de madera en Misiones

Chemical analysis and calorific power of five commercial wood species in Misiones

DOI: <https://doi.org/10.36995/j.yvyrareta.2024.32.001>

Recibido 29 de diciembre 2023; aceptado 3 de julio 2024

Adelaida Bragaño ¹, **Iris Figuejero** ², **Daniel Schamne** ³,
Marina Hornus ⁴

¹ Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. Laboratorio Tecnología de la Madera. Eldorado. Misiones. Argentina adelaida.bragano@fcf.unam.edu.ar

² Instituto Nacional de Tecnología Agrícola. Montecarlo. Misiones. Argentina.

³ Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Forestales. Laboratorio de Química. Eldorado. Misiones. Argentina.

⁴ Universidad Nacional de Misiones. Concejo Nacional de Ciencia y Técnica. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Materiales de Misiones. Posadas. Misiones. Argentina.

Resumen

Este estudio se enfocó en la caracterización química; contenido de cenizas, extractivos, lignina Klason, y carbohidratos como así también poder calorífico de cinco especies de madera de alto valor comercial: *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze, *Eucalyptus grandis*, *Cedrela fissilis* Vell y *Nectandra lanceolata* Nees & Mart. en la región de Misiones. Entre las especies analizadas, se destacó el *Pinus taeda*, mostrando el mayor poder calorífico y el menor porcentaje de cenizas, con valores de 4929 Kcal/Kg y 0.16%, respectivamente. Estas características hacen que el *Pinus taeda* sea especialmente propicio para su utilización como combustible en la generación de energía renovable. La *Cedrela fissilis* Vell presentó un elevado porcentaje de extractivos 7.7 % mientras que las otras especies no llegaron a tener valores mayores a 4.5%.

Palabras Clave: Composición química; Poder calorífico.

Abstract

This study focused on the chemical characterization, including ash content, extractives, Klason lignin, carbohydrates, and heating value, of five commercially valuable wood species: *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze, *Eucalyptus grandis*, *Cedrela fissilis* Vell, and *Nectandra lanceolata* Nees & Mart in the Misiones region. Among the analyzed species, *Pinus taeda* stood out, exhibiting the highest heating value and the lowest ash percentage, with values of 4929 Kcal/Kg and 0.16%, respectively. These characteristics make *Pinus taeda* particularly suitable for use as fuel in renewable energy generation. *Cedrela fissilis* Vell presented a high percentage of extractives at 7.7%, while the other species did not exceed values higher than 4.5%.

Keywords: Chemical wood composition; Calorific power.

Introducción

La caracterización de las especies forestales de interés comercial en Misiones se revela como una tarea esencial para ampliar el conocimiento acerca de sus propiedades y aplicaciones. Este estudio se centra en especies clave como *Pinus taeda*, *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze, *Eucalyptus grandis*, *Cedrela fissilis* Vell y *Nectandra lanceolata* Nees & Mart., comúnmente conocidas como Pino, Pino Paraná, Eucalipto, Cedro y Laurel, respectivamente. Las primeras tres especies se destacan especialmente debido a su elevado volumen en el forestado en especial el Pino, lo cual se atribuye a su rápido crecimiento, según información proporcionada por el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGyP, 2023). Datos recopilados indican que, dentro del género *Pinus*, se registraron 332.255 hectáreas, representando un 81.9% de las plantaciones forestales en Misiones. En el caso del género *Eucalyptus*, se contabilizaron 40.902 hectáreas, equivalente al 10.1%. Por último, la *Araucaria* abarcó 16.050 hectáreas, es decir, un 4% del total (Fank et al., 2020).

En Argentina, las plantaciones de coníferas abarcan 640.000 hectáreas, concentradas principalmente en las provincias de Misiones y Corrientes, las cuales representan el 90% de la superficie nacional dedicada a este tipo de cultivo (Elizondo et al., 2015). A sabiendas que la actividad forestal ocupa un papel preponderante en la región, donde el 70% de la superficie forestada del país se concentra en la Mesopotamia y un 64% de las forestaciones corresponde a las provincias de Misiones y Corrientes, es crucial contar con información detallada sobre estas especies para optimizar su aprovechamiento sostenible.

Conociendo que las propiedades de la madera están influenciadas no solo por factores morfológicos, sino también por el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, es relevante determinar la proporción de estos (Garay y Henríquez, 2012), por ejemplo, el poder calorífico de una madera será mayor cuanto más lignina tenga debido a que esta tiene un poder calorífico alto con valores entre 22,2 a 28,5 MJ/kg (Maksimuk et al., 2021; Demirbaş, 2017), mientras que la celulosa tiene valores entre 17,30 a 17,42 MJ/kg (Maksimuk et al., 2021) y la hemicelulosa un valor ligeramente diferente al de celulosa. Demirbaş (2017), establece un valor de 17,5 MJ/kg para la holocelulosa (celulosa y hemicelulosa). Así como la lignina, los extractivos también tienen un poder calorífico alto (Doat, 1977) que varía según el tipo de extractivo. Con esto se espera que las coníferas tengan un poder calorífico mayor al de las frondosas, debido a la mayor cantidad de lignina, resina, ceras y aceites (AEVBIOM, 2012). Mientras que la lignina y extractivos influye positivamente en el poder calorífico, el porcentaje de cenizas influye negativamente (Martínez-Pérez et al., 2012). El trabajo de Uceda Castillo (1980), propone una predicción del poder calorífico en función de la composición química de la madera reafirmando que el análisis químico es una buena herramienta para tener una

estimación del poder calorífico de una especie si no se cuenta con un calorímetro, un trabajo similar lo ha llevado adelante Álvarez Rodríguez (2013).

El objetivo de este trabajo es la caracterización química de cinco especies de interés comercial en la provincia de Misiones y la determinación de su poder calorífico.

Materiales y métodos

Los ensayos se realizaron sobre muestras de madera comercial tomadas de diferentes aserraderos de la zona de Norte de la provincia de Misiones.

Las determinaciones de composición química se realizaron según los procedimientos de LAP National Renewable Energy Laboratory NREL/TP-510-42618 para lignina, NREL/TP-510-42619 para extractivos, y NREL/TP-510-42622 para cenizas. El material para ensayar seco al aire libre fue reducido a polvo en un molino a cuchillas Fritsch® modelo Pulveristtite 15; las fracciones utilizadas para el análisis composicional fueron las que pasaron el tamiz 20-mesh y retenidos en el tamiz 80-mesh.

Los cálculos del porcentaje de extractivos, lignina, carbohidrato, cenizas y poder calorífico están expresados en base seca de muestra, para ello, se determinó el contenido de humedad de la muestra con la Norma IRAM N° 9532 por el método de secado en estufa, se tomaron unos 2 g de muestra molida y se secaron en estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta peso constante, por diferencia de peso y usando la formula siguiente se calculó la humedad

$$CH \% = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad en %.

Ph = Peso húmedo en gramos.

Po = Peso Anhidro o seco en gramos.

Determinación del porcentaje de extractivos

Se pesaron para cada muestra una cantidad de entre 8 a 12 g y se extrajo a través del sistema soxhlet con alcohol al 96. El sistema se dejó a reflujos por 24 horas. Después de este tiempo, se apartó el alcohol con los extractivos, se dejó evaporar el alcohol y se pesó el remanente que representa los extractivos, los resultados para cada especie pueden verse en Tabla 1.

Determinación de lignina insoluble

Se pesaron para cada muestra una cantidad de aproximadamente 0,500 g de material extraído calculado en base seca a la cual se adiciono 5 ml de ácido sulfúrico al 72% y se dejó en baño María a 30°C por 1 hora. Transcurrido ese tiempo se le adiciono 140 ml de agua destilada. Los frascos tapados fueron colocados en el autoclave a 121°C por 1 hora. Después del autoclave las muestras se filtraron con embudo Buchner y papel de filtro seco y pesado previamente. Al terminar el filtrado se enjuago con agua destilada. El papel de filtro con la lignina insoluble se llevó a estufa a 105°C hasta peso constante y se calculó el contenido de lignina.

Determinación de cenizas

Entre 0,5 a 1,5 g de material seco al aire libre, molido y tamizado fueron colocados en crisoles de 40 y 50 ml.

La mufla usada fue de la marca FAC DIG que cuenta con un programa de calentamiento gradual con la que se llevó los siguientes incrementos:

Calentamiento desde la temperatura ambiente hasta 150°C. Mantener por 12 minutos.

Calentamiento desde 150°C hasta 250°C. Rampa 10°C/min. Mantener a 250°C por 30 minutos.

Calentamiento desde 250°C hasta 575°C. Rampa 20°C/min. Mantener a 575°C por 180 minutos.

Apagar y dejar enfriar.

La figura 1 muestra los crisoles con las cenizas.



Figura 1. Crisol con ceniza
Photo 1. Crucible with ash

Determinación de holocelulosa

La determinación de holocelulosa se hizo por diferencia de peso. Al 100% de la

madera se restó la ceniza, lignina, extractivos y el resto se lo considero holocelulosa.

Determinación poder calorífico

Para la determinación del poder calorífico se procedió según Norma IRAM 17016 donde la muestra anhidra, molida y tamizada se prensó hasta formar una pastilla de aproximadamente 1 g la cual se introdujo en una bomba calorimétrica marca Parr® modelo 1341 (Figura 2) donde se realizó la combustión con oxígeno a 25 atm. El aumento de la temperatura del sistema fue registrado y los datos usados para los cálculos correspondiente



Figura 2. Bomba calorimétrica con patilla de madera y calorímetro Parr® modelo 1341
Photo 2. Bomb calorimeter with wooden leg and Parr® model 1341 calorimeter

Resultados y Discusión

En la Tabla 1, se destaca que el contenido de extractivos varía entre 1,56 % y 7,72 %, siendo el Cedro la especie con el mayor porcentaje de extractivos. Este hallazgo coincide con la investigación realizada por Abad-Cordero et al. (2020), quienes también identificaron un alto contenido de extractivos en el Cedro.

Observando el bajo contenido de lignina en el pino según la Tabla 1, sería razonable anticipar un poder calorífico más bajo en comparación con las demás especies. Sin embargo, resultó tener el mayor poder calorífico. Este fenómeno podría atribuirse al bajo porcentaje de cenizas, un factor que ha sido identificado como influyente negativamente en el poder calorífico según estudios previos (Martínez-Pérez et al., 2012; Rivera-Inga et al., 2016).

Aunque se podría esperar que el Cedro, con su alto contenido de extractivos, exhibiera un valor de poder calorífico significativo, presenta un poder calorífico de 4244 Kcal/kg, inferior al del pino (4929 Kcal/kg) y al del Laurel (4570 Kcal/kg). Este contraste se atribuye al elevado porcentaje de cenizas en el Cedro, que alcanza un 1,33%, superando a cualquier otra especie estudiada. El estudio llevado adelante por Aguinsaca (2019) donde entre otras cosas se comparó el contenido de cenizas de diferentes especies, también obtuvo que el Cedro fue la especie con mayor contenido de esta, en este caso de 3,25 %. Este valor es considerablemente

mayor al obtenido en este trabajo, Cardoso et al. (2001) indica que el contenido de ceniza puede variar según la especie, la disponibilidad en el suelo, las características individuales y la época del año.

Como se destacó anteriormente, el contenido de cenizas tiene un impacto negativo en el poder calorífico.

Tabla 1. % de Extractivo, lignina, holocelulosa, cenizas y poder calorífico
Table 1. % Extractive, lignin, holocellulose, ash and calorific value

	Extractivo (%)	Lignina (%)	Holocelulosa (%)	Cenizas (%)	Poder Calorífico (Kcal/kg)
Pino	3,18	29,9	66,7	0,16	4929
Pino Paraná	1,56	35,6	62,6	0,24	3994
Eucaliptus	4,41	29,5	65,7	0,40	4086
Laurel	2,89	31,4	64,8	0,88	4570
Cedro	7,72	34,0	57,0	1,33	4244

La Figura 3 exhibe la coloración variada de los extractivos en alcohol de las especies analizadas. Esta diversidad cromática se atribuye a las diferencias en la composición de los extractivos según la especie. Vale la pena destacar que la mezcla compleja de componentes químicos en los extractivos impide asignar un valor específico de poder calorífico a esta sustancia. Para obtener una comprensión más detallada de los componentes químicos presentes, sería beneficioso considerar análisis químicos más avanzados, como la cromatografía gaseosa acoplada a espectrofotómetro de masa. Este enfoque permitiría identificar y cuantificar los diversos compuestos presentes en los extractivos, proporcionando una visión más precisa de su composición química y posibles aplicaciones.

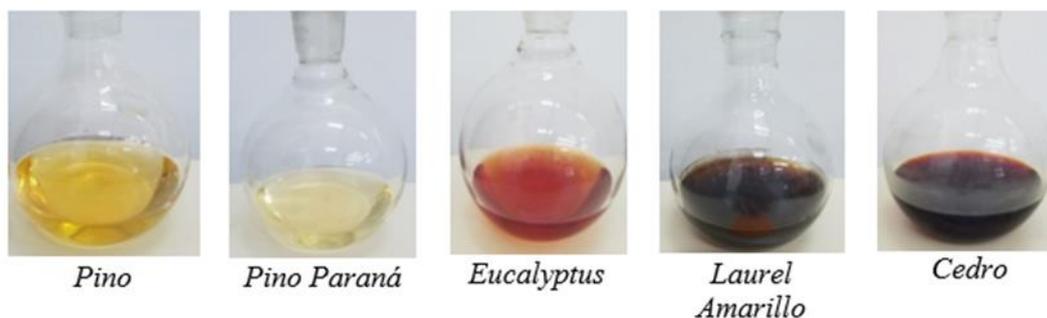


Figura 3. Coloración de los extractivos en alcohol de las diferentes especies estudiadas
Photo 3. Coloration of the alcohol extractives of the different species studied

Conclusiones

Las tres especies más comercializadas en Misiones: Pino, Pino Paraná y Eucalipto, exhibieron bajos porcentajes de cenizas, lo cual es un factor crucial al considerar estas especies como material combustible. La presencia reducida de cenizas es esencial, ya que no solo impacta negativamente en el poder calorífico, sino que también puede causar problemas de suciedad en los sistemas de combustión. El *Pinus taeda* se destacó al presentar el mayor poder calorífico, un menor contenido de cenizas y, además, posee un rápido crecimiento, lo que lo convierte en la elección preferida para ser utilizada como fuente de combustible renovable.

El considerable contenido de extractivos en el cedro justifica la necesidad de llevar a cabo estudios cualitativos adicionales para identificar sus componentes, los cuales podrían poseer un alto valor económico. Esto no solo ampliaría las aplicaciones del cedro más allá de su uso actual como madera, sino que también podría generar oportunidades significativas en términos de aprovechamiento económico de estos componentes.

Referencias bibliográficas

- Abad-Cordero, Y., Jumbo-Benítez, N. del C., Fernández-Guarnizo, P. V., Rogel, J. B. G., Iñiguez-Ordoñez, D. P., & Pucha-Cofrep, D. A. (2020). Composición química de la madera de *Cedrela odorata* L. y su relación con las propiedades químicas del suelo de la parroquia Zumba provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Revista Investigación Agraria*, 2(3), 45–54. <https://doi.org/10.47840/REINA.2.3.902>
- AEVBIOM. (2012). *Manual de Combustibles de Madera*. (Asociación española de valorización energética de la biomasa, Ed.).
- Aguinsaca, F., Rey, Y., Jaramillo, A., Luzón, C., Jumbo, N., Fernandez, P., González, J., & Pucha-Cofrep, D. (2019). Caracterización química de cinco especies forestales en el sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(1), 110–118.
- Álvarez Rodríguez, A. (2013). *Caracterización química de biomasa y su relación con el poder calorífico*.
- Cardoso, I., Guijt, I.M., Franco, F., Carvalho, A.F. & Neto, P.S. (2001). Continual learning for agroforestry system design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agricultural Systems*. 69(3),235-257. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00028-2](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00028-2).
- Demirbas, A. (2017). Higher heating values of lignin types from wood and non-wood lignocellulosic biomasses. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(6), 592–598. <https://doi.org/10.1080/15567036.2016.1248798>

- Doat, J. (1977). Le Pouvoir Calorifique des Bois Tropicaux. *Bois et Forêts Des Tropiques*, 172, 33–44.
- Elizondo, M. H., Mestres, J. M., Hourcade, J. S., Moreno, J. C., Wabo, E., & Alvarez, A. M. (2015). *Actualización del inventario de plantaciones de la provincia de Corrientes* (Gobierno de la Provincia y Consejo Federal de Inversiones, Eds.).
- Fank, P., Garcia, D., & Piter, J. (2020). Análisis comparativo de la madera de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* a través de las propiedades físico-mecánicas. *Revista Yvyraretá*, 28.
- Caray, R., & Henriquez, M. (2012). Tratamiento químico de acetilación en madera de *Pinus radiata*. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 14(1), 103–113. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2012000100009>
- Rivera Inga, P., & Uceda Castillo, M. (1987). Características físico - químicas de la madera y carbón de once especies forestales de la amazonia peruana. *Revista Forestal Del Perú*, 14(2). <https://doi.org/10.21704/RFP.V14I2.137>
- IRAM. (1960). *Norma 17016. Carbones. Método de la determinación del poder calorífico*.
- MAGyP. (2023). *Características de la región. Misiones*. <https://Forestindustria.Magyp.Gob.Ar/Archivos/Informacion-Por-Region/Misiones.Pdf>.
- Maksimuk, Y., Antonava, Z., Krouk, V., Korsakova, A., & Kursevich, V. (2021). Prediction of higher heating value (HHV) based on the structural composition for biomass. *Fuel*, 299, 120860. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2021.120860>
- Martinez-Perez, R., Pedraza-Bucio, F. E., Apolinar-Cortes, J., Lopez-Miranda, J., & Rutiaga-Quinones, J. G. (2012). Poder calorífico y material inorgánico en la corteza de seis árboles frutales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 375–384. <https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2011.05.039>
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluite, J., & Templeton, D. (2005). *Technical Report NREL/TP-510-42622*.
- Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluite, J., Templeton, D., & Crocker, D. (2005). *Technical Report NREL/TP-510-42618*.
- Sluiter, A., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluite, J., & Templeton, D. (2005). *Report NREL/TP-510-42619*.
- Suirezs, T. M., & Berger, G. (2010). *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* (EdUNaM - Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, Ed.).
- Uceda Catillo, M. E. (1980). Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonia peruana. *Revista Forestal de Perú*, 12, 1–15.