



# APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA. APTITUD DE RESIDUOS MADERABLES DE COPA PARA FORMAR AGLOMERADOS CON CEMENTO

## USE OF THE BIOMASS. THE APTITUDE OF GLASS WOODY RESIDUALS TO FORM AGGLOMERATES WITH CEMENT

DIGNA VELÁSQUEZ VIERA<sup>1\*</sup>, ALBERTO MAXIMILIANO VIDAL CORONA<sup>2</sup>, JESÚS RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Agro-Forestales, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Camagüey Camagüey, Cuba.

E-mail: [alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu](mailto:alberto.vidal@inaf.cmg.minag.cu)

<sup>3</sup>Unidad Científico Tecnológica de Base Estación Experimental Agro-Forestal Viñales, Pinar del Río, Cuba.

E-mail: [jrodriguez@forestales.co.cu](mailto:jrodriguez@forestales.co.cu)

\*Autor para correspondencia: [velasquez@forestales.co.cu](mailto:velasquez@forestales.co.cu)

### RESUMEN

En Cuba, el manejo silvícola genera grandes volúmenes de residuos maderables de copa que no son aprovechados industrialmente, lo que representa un problema ambiental y económico. Este estudio evaluó la aptitud de los residuos de *Pinus caribaea* y *Eucalyptus saligna* para la producción de aglomerados con cemento, con el objetivo de ofrecer una alternativa sostenible para su uso. Se utilizaron residuos de copa de ambas especies, triturados y procesados para obtener astillas de 0,5 a 2,0 mm. Mediante el Test de Sanderman, se midió la temperatura máxima de hidratación en un sistema adiabático, con una relación madera-cemento-agua de 1:10:5. Los resultados mostraron que *P. caribaea* alcanzó un coeficiente de aptitud del 82.9% (clasificado como "Muy Bueno"), mientras que *E. saligna* obtuvo un 77% ("Bueno"). Ambos materiales demostraron compatibilidad con el cemento sin necesidad de descortezado o aditivos. Se concluyó que estos residuos son aptos para la producción de aglomerados, que ofrecen una solución viable para su aprovechamiento en la construcción de viviendas.

**Palabras clave:** residuos forestales, compatibilidad, hidratación, construcción sostenible, astillas

### ABSTRACT

In Cuba, silvicultural management generates large volumes of wood canopy residues that are not industrially utilized, representing an environmental and economic problem. This study evaluated the suitability of *Pinus caribaea* and *Eucalyptus saligna* residues for the production of cement-based agglomerates, with the aim of offering a sustainable alternative. Crown residues of both species were used, crushed and processed to obtain 0.5 to 2.0 mm chips. Using the Sanderman test, the maximum hydration temperature was measured in an adiabatic system, using a wood-cement-water ratio of 1:10:5. The results showed that *P. caribaea* achieved a suitability coefficient of 82.9% (classified as "Very Good"), while *E. saligna* obtained 77% ("Good"). Both materials demonstrated compatibility with cement without the need for debarking or additives. It was concluded that these residues are suitable for the production of agglomerates, offering a viable solution for their use in housing construction.

**Keywords:** forest residues, compatibility, hydration, sustainable construction, wood chips

### INTRODUCCIÓN

En el proceso de manejo silvicultural y aprovechamiento del bosque en Cuba, se genera un alto volumen de residuos no aprovechables industrialmente en las áreas de tala. Entre estos residuos, destacan los residuos maderables de copa, cuyo potencial no ha sido completamente definido para todas las especies explotadas a nivel nacional. Además, no se han explorado todos los posibles usos que podrían darse a estos

materiales, lo que representa una oportunidad para futuras investigaciones y aplicaciones.

En Cuba, el plan de extracción de madera se concentra principalmente en la provincia de Pinar del Río, donde las especies más explotadas son *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea*, *Pinus tropicalis* Morelet y *Eucalyptus saligna* Smith. En el caso específico de *P. caribaea*, se ha estimado que en las áreas de tala queda un volumen de biomasa maderable residual de copa de 87,0 kg por cada m<sup>3</sup>

Recibido: 20/3/2022

Aceptado: 10/4/2022



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



de madera de fuste aprovechada y acopiada en el acopiadero superior (Vidal et al., 2019). Para *P. tropicalis*, este valor es de 85,4 kg (Vidal et al., 2020). Este material leñoso, que generalmente se deja en el bosque sin un uso definido, contribuye al incremento de plagas, enfermedades y al riesgo de incendios forestales.

A nivel internacional, la utilización de residuos leñosos sin previo descortezado ha sido una práctica común en la industria de aglomerados debido a sus ventajas económicas, técnicas y comerciales (Puig et al., 1993; Chen, 1990). Esta tendencia ha permitido el aprovechamiento de materiales que antes se consideraban desechos, lo que ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones en el sector forestal.

La producción de materiales ligeros de madera-cemento ha experimentado un rápido crecimiento debido a que combinan las mejores propiedades de ambos componentes en un solo producto (Yossifov et al., 1997). Estos materiales son ampliamente utilizados en la construcción de viviendas, escuelas y otras estructuras, ofreciendo una alternativa de bajo costo que aprovecha materiales residuales. Su versatilidad y eficiencia han contribuido a su popularidad en el ámbito de la construcción sostenible.

Para determinar la viabilidad de utilizar madera u otros materiales lignocelulósicos en la elaboración de aglomerados con cemento, es fundamental conocer el grado de afinidad entre ambos materiales. La selección de especies maderables compatibles es un factor clave en la producción de estos aglomerados. Además, mediante la aplicación de técnicas específicas, es posible mitigar el efecto inhibidor del fraguado causado por ciertos componentes químicos presentes en la madera, como la sacarosa (LingFei et al., 1996).

La variación en la composición química de la madera o cualquier material lignocelulósico influye directamente en la temperatura de hidratación de la mezcla con el cemento (Osinki & Potter, 1997; Irel, 1993). Este aspecto es crucial para garantizar la calidad y durabilidad de los productos finales, ya que afecta las propiedades físicas y mecánicas de los aglomerados.

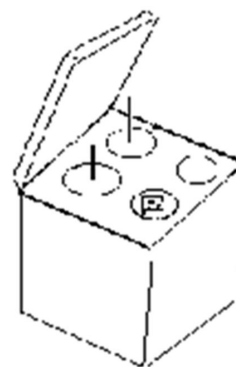
El objetivo de esta investigación es determinar la aptitud de los residuos maderables de copa de las especies *Pinus caribaea* y *Eucalyptus saligna* para su uso en combinación con cemento Portland. Este estudio busca definir su posible empleo en la elaboración de aglomerados, lo que podría representar una alternativa sostenible para el aprovechamiento de estos residuos forestales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios del Departamento de Tecnología de la Madera del Instituto de Investigaciones Agroforestales de La Habana, Cuba, durante el año 1996. Para el estudio, se utilizó biomasa maderable de copa de *Pinus caribaea* Morelet y *Eucalyptus saligna* Smith, obtenida de áreas de tala en la Provincia de Pinar del Río.

Estos residuos se sometieron a una transformación primaria mediante un Triturador Combinado TC-1,6 F, diseñado y construido por investigadores del Instituto de Investigaciones Agroforestales y del Instituto de Mecanización Agropecuaria (Puig et al., 1993). Posteriormente, se realizó una transformación secundaria con un molino eléctrico, con el objetivo de obtener astillas tecnológicas de un tamaño entre 0.5 y 2.0 mm para el ensayo.

El ensayo de aptitud se ejecutó mediante el Test de Sanderman (Sanderman & Kholer, 1964), el cual se basa en la medición de la temperatura máxima de hidratación de una mezcla de prueba y un testigo en un sistema adiabático. Este sistema fue diseñado y construido por investigadores del INAF (Velásquez, 1990). La Figura 1 muestra el equipo utilizado para determinar la compatibilidad entre la biomasa maderable de copa y el cemento.



**Figura 1.** Equipo para determinar la compatibilidad biomasa maderable de copa y cemento.

Para la muestra de estudio, se empleó una relación madera-cemento-agua de 1:10:5, mientras que para el patrón se utilizó una relación cemento-agua de 1:0.5. Esto equivalió a 20 g de madera, 200 g de cemento y 100 g de agua. El cemento utilizado en el experimento fue el Portland PP-250 de producción nacional. La temperatura se registró mediante observación directa durante un período de 20 horas consecutivas.

El cálculo del Coeficiente de Aptitud se realizó mediante la ecuación descrita por Vilela & Dumasquier (1968), la cual se expresa de la siguiente manera:

$$A = \frac{T_m - T_a}{T_M - T_a} \times 100$$

Donde:

AA = Coeficiente de Aptitud (%)

TM = Temperatura máxima del patrón (°C)

Ta = Temperatura ambiente (°C)

De acuerdo con los valores obtenidos del Coeficiente de Aptitud, las muestras se clasificaron en las categorías de Muy Buenas, Buenas, Regulares y Malas. Esta clasificación

permitió evaluar la viabilidad de la biomasa maderable para su uso en combinación con cemento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los valores de temperatura obtenidos durante el proceso de fraguado para ambas especies y la muestra patrón. La muestra de *P. caribaea* alcanzó la máxima elevación de temperatura a las 14 horas, con un valor de 41,5 °C, mientras que *Eucalyptus saligna* registró su mayor desprendimiento de calor una hora después, con una ligera disminución de este parámetro (40,5 °C). Por su parte, en la muestra patrón, la reacción exotérmica alcanzó un máximo de temperatura de 44,5 °C a las 13 horas, y a partir de ese momento comenzó a disminuir (Tabla 1).

En la Tabla 1 también se presenta el Coeficiente de Aptitud de ambas especies. Para *P. caribaea*, este coeficiente fue de 82,9%, clasificado como "Muy Bueno", mientras que para *E. saligna* se obtuvo un valor de 77%, interpretado como

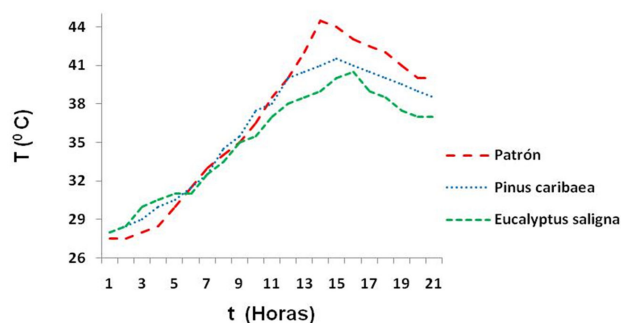
"Bueno". Estos resultados coinciden con lo informado por diversos autores, quienes destacan las ventajas de la madera de coníferas para su uso en esta tecnología, debido a su alta compatibilidad sin necesidad de aditivos o aceleradores del fraguado (Zouldian et al., 1997; Irel, 1993; Moslemi et al., 1983; Manzanares et al., 1991).

Los resultados indican que la fracción de corteza, que representa alrededor del 15% en las muestras de ambas especies, no ejerce un efecto inhibitorio en el fraguado del cemento. Este hallazgo sugiere que la presencia de corteza no afecta negativamente el proceso de hidratación.

En la Figura 2 se muestran las curvas que representan el comportamiento de la temperatura durante el proceso de hidratación de las muestras. Se observa que ambas especies presentan un comportamiento similar, con una elevación de la temperatura por encima del patrón durante las primeras horas de la reacción. Este fenómeno puede atribuirse al contacto inicial entre los componentes químicos de la madera y el aglomerante.

**Tabla 1.** Temperatura de hidratación y coeficiente de aptitud de las muestras ensayadas.

| Tiempo (h)        | Patrón | <i>P. caribaea</i> | <i>E. saligna</i> |
|-------------------|--------|--------------------|-------------------|
| A                 | 27.5   | 27.5               | 27.5              |
| 1                 | 27.5   | 28                 | 28                |
| 2                 | 27.5   | 28.5               | 29.5              |
| 3                 | 28     | 29.6               | 30                |
| 4                 | 28.5   | 30                 | 30.5              |
| 5                 | 30     | 30.5               | 31                |
| 6                 | 31.5   | 31.5               | 31                |
| 7                 | 33     | 32.5               | 32.5              |
| 8                 | 34     | 34.5               | 33.5              |
| 9                 | 35     | 35.5               | 35                |
| 10                | 36.5   | 37.5               | 35.5              |
| 11                | 38.5   | 38                 | 37                |
| 12                | 40     | 40.0               | 38                |
| 13                | 42     | 40.5               | 38.5              |
| 14                | 44.5   | 41                 | 39                |
| 15                | 44     | 41.5               | 40                |
| 16                | 43     | 41                 | 40.5              |
| 17                | 42.5   | 40.5               | 39                |
| 18                | 42     | 40                 | 38.5              |
| 19                | 41     | 39.5               | 38                |
| 20                | 40     | 39                 | 37.5              |
| Coef. De Apt. (%) | 40     | 38.5               | 37                |
|                   |        | 82.9 (M.B)         | 77 (B)            |



**Figura 2.** Curvas de hidratación de las especies estudiadas.

A partir de las seis horas, el desprendimiento de calor en el testigo se incrementó por encima de las muestras de ensayo, alcanzando su máximo en un menor tiempo. Resultados similares fueron informados por Manzanares et al. (1991) en estudios realizados con residuos del raleo de *P. caribaea* y *P. tropicalis*.

### CONCLUSIONES

1. *Pinus caribaea* presenta un Coeficiente de aptitud mayor de 80%, clasificado como Muy Bueno.
2. *Eucalyptus saligna* se considera Bueno, por presentar un Coeficiente de aptitud de 77%.
3. Para el empleo de los residuos maderables de copa de estas especies en la producción de aglomerados con cemento, no se requiere un descortezado previo ni la adición de aditivos aceleradores del fraguado.
4. La biomasa maderable de copa procedente de las áreas de tala de *Pinus caribaea* y *Eucalyptus saligna* pueden ser empleados como materia prima para la elaboración de aglomerados con cemento como un producto forestal para la construcción de viviendas.

### BIBLIOGRAFÍA

- Chen, T. Y. (1990). The suitability of structural particleboard made from fast-growing tree species. *Holz Als Roh - und Merckstoff*, 48(12). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19910648632>
- Irel, M. (1993). Agriculture residues for cement-bonded composites. *Proceedings of a workshop on inorganic-bonded wood and fiber composite materials*, 3, 31-58. <https://cir.nii.ac.jp/criid/1571698599510560768>
- LingFei, M., Kuroki, Y., Eusebio, D. A., Nagadomi, W., Kawai, S., & Sasaki, H. (1996). *Manufacture of bamboo-cement composites I. Hydration characteristics of bamboo-cement mixtures*. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19960603705>
- Manzanares, K., Velazquez, D., Valdés, J., Martinez, O., & Morales, F. (1991). Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados con cemento. *Revista Forestal Baracoa*, 21(1), 59-73.
- Moslemi, A. A., Garcia, J. F., & Hofstrand, A. D. (1983). Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement-water systems. *Wood and Fiber science*, 15, 164-176.
- Osinki, B. A., & Potter, A. (1997). Early Strength Prediction in Heat - Accelerated processing of cement-Wood Composite. *Spokane*, 14-19.
- Puig, A., Vidal, A. M., Godínez, E., Figueredo, M. A., Ramos, R., Rodríguez, J., & Quert, R. (1993). *Triturador TC-1.6F para el procesamiento integral de la biomasa forestal*.
- Sanderman, W. R., & Kholer, R. (1964). Studies of Mineral bonded Wood materials. IV: A short test of the aptitude of wood for cement bonded materials. *Holzforsehung*, 18(12), 53-59.
- Velázquez, D. (1990). *Equipo determinador de compatibilidad*. IX Forum de Ciencia y Técnica.
- Vidal, A. M., Quert-Álvarez, R., & Avilés-Martínez, G. F. (2019). Pronóstico de biomasa de copa aprovechable de *Pinus caribaea* por metro cúbico de madera de fuste. *Revista Forestal Baracoa*, 38(3), 21-28.
- Vidal, A. M., Toirac-Argüelles, W., & Rodríguez-Rodríguez, J. (2020). Pronóstico de biomasa de copa aprovechable de *Pinus tropicalis* por metro cúbico de madera de fuste. *Revista Forestal Baracoa*, 39(1), 33-38.
- Vilela, E., & Dumasquier, H. (1968). Determinación del Coeficiente de Aptitud de un grupo de maderas para su posible aplicación en la fabricación de tableros de pajilla de madera-Cemento. *Revista Forestal Venezolana*, 11(16), 75-84.
- Yossifov, N., Khristova, P., & Gabi, S. (1997). Agri-Cement Panels from Sunflower Stalks. *Spokane*, 33-37.
- Zouldian, A. A., Mongel, E., Sauvatand, N., & Fodrevelle, J. (1997). Effect of setting accelerators on the characteristics of wood-Cement Particleboards. *Spokane*, 26-32.