



Uso de residuos lignocelulósicos en la elaboración de compuestos de madera-cemento-arena

Use of lignocellulose leftovers in the elaboration of made up of wood-cement-sand

Jorge Luis García González

Estudiante Ingeniería Forestal. Quinto año. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Cuba. Correo electrónico: jorge.garcia@upr.edu.cu

Recibido: 20 de abril de 2017.

Aprobado: 14 de octubre de 2017.

RESUMEN

El uso íntegro de la madera como materia prima depende de las varias fases de su cadena productiva. Por consiguiente, es necesario estudiar el proceso con el objetivo de saber los aspectos que deben incidir de una manera más directa en ella y evitar que factores negativos puedan seguir reduciendo la credibilidad y aceptación del producto en el mercado. Se construirán los modelos matemáticos que hacen posible elevar la eficacia y la calidad de la producción de madera aserrada. El uso de residuos del bosque y cemento consolida la producción de elementos constructivos para casas de bajo costo, así como las pruebas de compatibilidad y modelación matemática del proceso de formación de los modelos, con el propósito de obtener los parámetros tecnológicos que hacen posible alcanzar un producto con la mayor resistencia posible. Los objetivos de este proyecto se refieren al

ABSTRACT

The entire use of the wood like matter prevails it depends on the several phases of its productive chain. Consequently, it is necessary to study the process with the objective of knowing the aspects that should impact in a more direct way of avoiding that negative factors can continue reducing the credibility and acceptance of the product in the market. The mathematical models will be built that make possible to elevate the effectiveness and the quality of the sawed wooden production. The use of residuals of the forest and cement consolidate the production of constructive elements for houses of low cost, as well as tests of compatibility and mathematical modulation of the process of formation of the models, with the purpose of obtaining the technological parameters that make possible to reach a product with the possible bigger resistance. The objectives

desarrollo de métodos y procedimientos que empiezan desde el modelado matemático que permite aumentar el uso del residuos lignocelulósicos, la aplicación de técnicas innovadoras que permiten aumentar la eficacia y calidad de la biomasa del bosque, la divulgación en el sector de la industria forestal dando posibilidades de nuevas tecnologías asociada con la evaluación destructiva de la madera durante la determinación de sus propiedades básicas para, finalmente, colaborar con la reducción de la presión en los bosques nativos, lo que aumenta el uso de la biomasa.

Palabras clave: residuo; madera; cemento; elemento.

of this project refer to the development of methods and procedures that begin of the modeling one mathematical that allows to increase the use of the lignocelluloses residuals, the application of innovative techniques that you/they allow to increase the effectiveness and quality of the biomass of the forest, the popularization in the sector of the forest industry giving possibilities of new technologies associated with the destructive evaluation of the wood during the determination of their basic properties and, finally, to collaborate with the reduction of the pressure in the native forests that increase the use of the biomass of this.

Keywords: waste; wood; portland cement, element.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la transformación mecánica de la madera se caracteriza por el bajo nivel de aprovechamiento de la materia prima, debido a un grupo de factores como la baja tecnología, la calificación profesional, la calidad de la materia prima, el proceso empírico, lo que también implica que la producción no reúna los requisitos de calidad necesarios y con eso no satisface totalmente las demandas del mercado consumidor (Álvarez, 2002). La solución de este problema permitirá aumentar los beneficios baratos, substancialmente, para el sector forestal, así como mitigando el posible impacto negativo que la industria maderera tiene sobre el medio ambiente (Basaure, 2008).

Por ello, el objetivo de este estudio está vinculado a implementar diferentes procedimientos que permitan la utilización del aserrín de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* en la elaboración de elementos constructivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Álvarez (2005) expresó que La Empresa Forestal Integral (EFI) "Macurije" está ubicada en la región más occidental de la provincia de Pinar del Río, abarcando parte de los territorios de los municipios de Guane y Mantua. Sus límites geográficos son los siguientes: al noreste con el municipio Minas de Matahambre (EFI "Minas de Matahambre") y con el litoral costero desde la Ensenada de Baja hasta la Ensenada de Garnacha; al este con el municipio de San Juan y Martínez (EFI "Pinar del Río"); al sur con el municipio de Sandino (EFI "Guanahacabibes") y al sureste con el litoral del Golfo de México comprendido entre las desembocaduras de los ríos Cuyaguaje y Puercos.

El material perteneciente a la especie *Pinus caribaea* se adquirió en el aserrío "Combate de las Tenerías" en el municipio Guane, en la época de invierno, específicamente en el mes de diciembre. Su identificación fue confirmada por especialistas del centro. El material fue utilizado seco, a la sombra, a temperatura

ambiente. Terminado este proceso de secado se procedió a la preparación para el análisis fotoquímico.

Análisis gravimétrico del aserrín de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*

El ensayo se llevó a cabo mediante el método de tamizado a partir de una muestra de 100 g de aserrín, mediante un vibrador durante 30 minutos; se utilizó la serie de tamices Tyler, la cual establece dimensiones en un rango que varían desde 2,362 mm hasta 0,038 mm.

Este método consiste en hacer pasar una muestra conocida del material por una serie de tamices que poseen orificios o mallas progresivamente decrecientes, donde quedan retenidas las porciones de aserrín; una vez separadas se pesan y se determina el por ciento retenido en cada tamiz con relación al peso total de la muestra.

Determinación del contenido de humedad

Se tomaron muestras de aproximadamente 5 g de aserrín que fueron secadas en estufa a 103 ± 2 (1) °C hasta masa constante según norma TAPPI T12-os-75. Se utilizaron materiales como: crisol, desecadora, balanza analítica (0.001g de precisión), estufa. El por ciento de humedad (ecuación 1) se calculó de acuerdo con la siguiente expresión (Álvarez, *et al.*, 2013):



(Ecuación 1)

Donde:

A: crisol más masa de la muestra

B: crisol más masa seca

C: crisol vacío.

La estabilidad del contenido de humedad de las muestras de aserrín empleado en la elaboración de los tableros de MP fue obtenida mediante la utilización de una estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C durante un período de 4 h.

Análisis fitoquímico

Para la obtención de los extractos etéreo, acuoso y alcohólico, se pesaron 5 g de la muestra y fueron depositadas en 150 ml de agua destilada, en alcohol y éter; estas tres muestras se almacenaron durante 48 horas en el refrigerador, luego se pasaron por papel de filtro, cada una por separado.

En la identificación de los metabolitos secundarios se emplearon pruebas o técnicas simples, rápidas y selectivas para un determinado compuesto, realizándosele a cada extracto aquellos ensayos específicos para los metabolitos que, de acuerdo a su solubilidad, podían haber sido extraídos en cada solvente.

Análisis del índice de compatibilidad del cemento con el aserrín de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis*

El ensayo consiste en la determinación de la temperatura máxima de hidratación de una mezcla de prueba y una testigo en un sistema adiabático. Las especificaciones empleadas en el experimento son las siguientes:

- Muestra de prueba: 20 g de especie maderable, 200 g de cemento y 100 ml de agua destilada.
- Muestra Testigo: 200 g de cemento y 100 ml de agua destilada.

Las muestras de comparación y de prueba se prepararon a mano en un mortero de porcelana. Se mezclaron primeramente las partículas de madera con el cemento Pórtland P-350 con ayuda de un agitador de vidrio. Posteriormente se añadió el agua y se agitó durante 5 minutos hasta alcanzar una distribución uniforme de los componentes de la mezcla.

Procedimiento del ensayo

Para realizar el ensayo se requiere de un equipo registrador de temperaturas compuesto de termos adiabáticos. Cada muestra se introduce en el interior del termo depositado en un vaso de cartón parafinado y posteriormente se le inserta un termómetro protegido en el extremo con grasa. Se van haciendo lecturas consecutivas en un intervalo de 2 horas después de iniciado el experimento. Se calcula el coeficiente de aptitud mediante la ecuación siguiente:



(Ecuación 2)

Donde:

A: Coeficiente de Aptitud (%)

T_m: temperatura máxima de la muestra de ensayo (°C)

T_o: Temperatura ambiente (°C)

T_M: Temperatura máxima de la muestra patrón (°C)

Determinación del comportamiento mecánico de los elementos constructivos a partir de la mezcla de aserrín-cemento-arena

El ensayo de densidad se realizó con la medición de la masa y el volumen de 270 probetas de 5x5 cm de sección transversal, según lo establecido en la norma DIN 52361; además, se determinaron en 810 probetas otros indicadores físicos tales como humedad, adsorción y dilatación, conducidos por el mismo documento normalizativo. Cada uno de los 27 tableros se seccionó en 10 probetas de (30x5) cm² para realizar el ensayo de flexión estática según norma DIN 52362, con la aplicación de una carga central a una velocidad de 0,25 cm/min sobre una distancia entre soportes de 25 cm. El módulo de ruptura constituye, en el

diseño, la variable dependiente y se calculó mediante la ecuación siguiente:



(Ecuación 3)

Donde:

MOR: Módulo de ruptura en la Flexión Estática (Kg/cm²)

P máx: carga máxima de ruptura (Kg)

L: distancia entre soportes (cm.)

b: ancho de la probeta (cm)

s: espesor de la probeta (cm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad de las partículas de aserrín juega un papel importante en la fabricación de materiales constructivos, permitiendo que sus propiedades de compactación sean mejores y facilitando la función de cada uno de los aditivos empleados.

Los ensayos de laboratorio permitieron determinar que el contenido de humedad inicial del aserrín de *Pinus caribaea* (var. *Caribaea*) y *Pinus tropicalis* es de 20 %; de ahí que, para ser usado como materia prima, su contenido de humedad debe ajustarse a las normas que establecen valores de contenido de humedad entre 3-6 %, considerando su estado ideal entre 1-2 %, por lo que resulta necesario reducir al menos un 15 % de humedad. Según las condiciones experimentales de secado se obtuvo un aserrín con un contenido de humedad promedio de 3,5 %, adecuado para ser utilizado.

Análisis granulométrico

Se determinó que por cada m³ de aserrín, el 88,3 % puede ser utilizado en el proceso productivo para la elaboración de materiales para la construcción, el 11,7 % de las partículas restantes para ser utilizadas deben ser trituradas

nuevamente, ya que sus dimensiones son mayores de 1 mm y se presentan en forma de astillas, pequeños pedazos de madera y de corteza (figura 1); considerando que el diámetro promedio de los tamices (D_{pi}) con las fracciones de masas cernidas y retenidas (x_i, y_i) es de aproximadamente 0,70 mm.

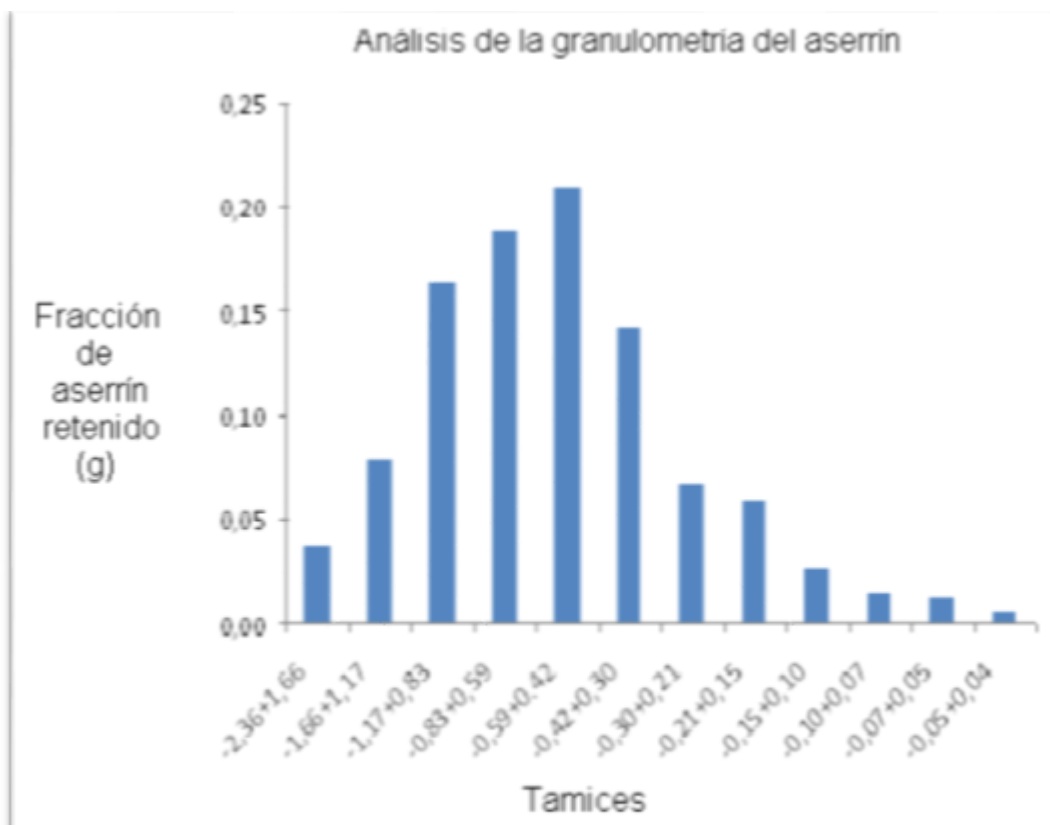


Fig. 1. Gráfico análisis de la granulometría del aserrín (Fracción de aserrín retenido vs Tamices)

Fuente: elaboración propia

Este análisis permite definir que el aserrín obtenido del aserradero "Combate de las Tenerías" constituye una fuente importante de materia prima para la producción de elementos constructivos (Files, 2009).

Análisis fitoquímico del aserrín

Se le practicó un análisis fitoquímico al aserrín para determinar la presencia de

metabolitos secundarios (tabla 1). Las pruebas se realizaron en tres extractos diferentes: acuoso, alcohólico y etéreo y se pudo comprobar la presencia de un grupo de sustancias químicas.

Después de realizado el estudio, se pudo constatar que la mayor muestra de sustancias está en los extractos etéreo y alcohólico, destacándose alcaloides, cumarinas y compuestos fenólicos.

Tabla 1. Sustancias presentes en el aserrín de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicales*

(Los signos positivos refieren la presencia de metabolitos secundarios y los negativos lo contrario)

Metabolitos secundarios	Extracto acuoso	Extracto alcohólico	Extracto etéreo
Alcaloides	-	++	+
Quinonas		-	
Compuestos lactónicos			
Cumarinas		++	++
Azúcares reductores	-		
Saponinas	++	-	
Compuestos fenólicos y taninos	-	++	
Aminoácidos libres		-	
Flavonoides			-
Aceites			
Hidrocarburos			
Carotenos			
Azúcares			+
Principio amargo: dulce al paladar			
Ácidos grasos		-	-
Mucílago	-		

Fuente: elaboración propia

Sustancias presentes en el aserrín de *Pinus caribaea* y *Pinus tropicales*

Con los valores de temperatura analizados se calculó el coeficiente de compatibilidad (Ecuación 4), obteniéndose como resultado 67,70 %, siendo este bueno para la elaboración de los materiales constructivos.

$$MOR = \frac{3P_{m\acute{a}x} L}{2bs^2} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Análisis estadísticos

En la tabla 2 se puede apreciar que las temperaturas medias de los dos compuestos son similares, por lo que no existe diferencia significativa entre estos.

Tabla 2. Análisis estadístico de la temperatura del compuesto (Tc) y de la temperatura del patrón (Tp).

Estadística	Tc	Tm
X	32,14	34,35
Min	28,70	23,80
Max	37,30	42,50
Desv.Est.	2,70	5,57
Coef.Var.	8,41	16,22
Varianza	7,30	31,04
Covarianza	12,87	
Coef. de Correlación	0,90	

Fuente: elaboración propia

Análisis de la influencia de los aditivos sobre la resistencia mecánica de los compuestos aserrín-cemento-arena

Para tener un elevado factor de seguridad en la posible construcción hecha a partir del aserrín-cemento-arena, nos dimos a la tarea de adicionar, con diferentes formulaciones, el Cl₂Ca, según lo que se expone a continuación:

- Primer tratamiento: se añadió 28.50 g de cloruro de calcio (Cl₂Ca), 145 g de aserrín, 240 g de

cemento, 260 g de arena y 200 g de agua.

- Segundo tratamiento: este tratamiento tuvo las mismas dosificaciones, pero no se le añadió cloruro de calcio (Cl₂Ca).
- Tercer tratamiento: en este continuamos con las mismas dosificaciones, pero se le disminuyó la dosis de cloruro de calcio (Cl₂Ca) a 23 g.

Los resultados obtenidos al realizar los ensayos mecánicos de resistencia a la

compresión de los cuerpos de prueba, se pueden apreciar en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados obtenidos para la resistencia a la compresión

Muestra	Min	Media	Máx.	Desviación estándar
Tratamiento 1	7,16	7.609 _a	8,01	0,28293894
Tratamiento 2	3,01	4.197 _b	5,16	0,54343445
Tratamiento 3	6,99	7.376 _a	7,69	0,19856149

Fuente: elaboración propia

Teniendo en consideración el análisis de comparación de medias, considerando los resultados obtenidos (tabla 3), podemos exponer que no existe entre las diferentes dosificaciones de Cl₂Ca diferencias significativas para la resistencia a la compresión. Sin embargo, desde el punto de vista económico, es factible la utilización de una menor proporción de dosificación, ya que con ello se reduce el costo del proceso de conformación al tener que utilizar una menor proporción y con ello un menor gasto monetario; partiendo de que el precio del cloruro de calcio es de 3.75 € el Kg.

CONCLUSIONES

- Los factores que presentan una mayor incidencia sobre la resistencia de los

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez D. "Análisis numérico para aumentar la eficacia de los aserraderos". *La revista Chapingo. Las Ciencias de Bosque de serie y Ambientales*, 2002, **2**, 76-95.

materiales compuestos por aserrín-cemento-arena son: la humedad presente en el material, la presencia de sustancias extractivas, la adición de aditivos como el cloruro de calcio (Cl₂Ca) y el tamaño de las partículas de aserrín.

- Los compuestos madera-arena-cemento presentaron una resistencia a la compresión óptima para la construcción de viviendas e interiores de bajo presupuesto.
- A partir de que no existe entre las diferentes dosificaciones de Cl₂Ca diferencias significativas para la resistencia a la compresión, desde el punto de vista económico es factible la utilización de una menor proporción del mismo, ya que con ello se reduce el costo del proceso de conformación.
- Los compuestos aserrín-cemento-arena pueden contribuir a diversificar la industria de los materiales de la construcción.

Álvarez, D, Betancourt, Y., González, I. *Tecnología de la Madera*. La Habana, Cuba: Editorial Felix Varela, 2013.

Álvarez, E. *Algunos usos de los principales residuos madereros transformados (I)*. En: *Residuos madereros, transformación y usos*, 2005.

Basaure, P. *Aserrín de madera, datos al compostar*. [en línea]. Santiago, Chile, 23 octubre 2008 [Consultado 16 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.manualdelombricultura.com/foro/foro.pl>.

Files, A. J. M. *El uso de residuo de spp del pinus y materiales el cimentícios alternativo en la producción de bloques para la albañilería estructural*. Tesis Doctoral inédita en las Ciencias del Bosque. Universidad Federal de Paraná, Curitiba, 2009.

Jorge Luis García González. Estudiante Ingeniería Forestal. Quinto año. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Cuba.
Correo electrónico: jorge.garcia@upr.edu.cu
