

CARACTERIZACIÓN DE SUSTANCIAS TÁNICAS EXTRAÍDAS DE PRODUCTOS DE RALEO PARA FINES CONSTRUCTIVOS

TANIC CHARACTERIZATION OF EXTRACTIVE SUBSTANCES FROM THINNING PRODUCTS FOR CONSTRUCTION PURPOSES

DRA. C. KATIA MANZANARES-AYALA, M. SC. MARÍA A. GUYAT-DUPUY, DR. C. J. A. BRAVO-IGLESIAS E ING. DIGNA VELÁSQUEZ-VIERA

Instituto de Investigaciones Agro-Forestales. Calle 174 no. 1723 e/ 17B y 17C, Siboney, La Habana

RESUMEN

En la actualidad las innovaciones tecnológicas permiten la creación, producción y generación de productos con valor agregado para fomentar la protección del medio ambiente a partir de la planificación de los operaciones forestales; pero en la mayoría de los países latinoamericanos esta práctica no se realiza de forma sistemática como estrategia empresarial para elevar la rentabilidad de las inversiones. En Cuba los residuos de los tratamientos silviculturales, tales como los raleos, presentan bajo valor mercantil en las empresas forestales, por lo que se impone buscar alternativas para su reutilización en tecnologías con valor agregado. El objetivo del trabajo es evaluar la aptitud de los residuos de raleo de tres especies forestales para las tecnologías de tableros mineralizados a través de un estudio de la composición química de algunos compuestos químicos de las partículas leñosas.

Palabras claves: Tableros compuestos, extractos de madera, extractos tánicos, tratamientos de los cortes, cemento

ABSTRACT

At the present time the technological innovations allow the creation, production, and generation of products with added value to foment the protection of the environment starting from the planning of the forest operations, but in most of the Latin American countries this practice is not carried out in a systematic way as managerial strategy to elevate the success of the investments. In Cuba, the residuals of the forest treatments such as the thinning, present low commercial value in the forest companies, for what is imposed to look for alternatives for their re-use in technologies with added value. The objective of the work is to evaluate the aptitude of the residuals of thinning of three forest species for the technologies of mineral bonded wood cement composite boards through a study of the chemical composition of some chemical compounds of the woody particles.

Key words: Composite board, wood extracts, tanning agents, slash disposal, cement

INTRODUCCIÓN

La comunidad internacional ha tomado conciencia de la necesidad de un cambio de actitud para lograr un mejor uso de los desechos madereros derivados de las operaciones forestales, ya que un aprovechamiento eficiente de las pérdidas maderables puede ayudar a los productores tropicales al lanzamiento de diferentes líneas de productos totalmente nuevos y una mejora del medio ambiente. En este sentido se están promo-

viendo medidas de acción para movilizar, evacuar y utilizar los residuos del segmento de aprovechamiento de la cadena productiva forestal con vistas a implementar los procedimientos de extracción de madera sin sacrificio de los valores de la diversidad biológica forestal. En particular, el control de las intervenciones silvícolas, tales como los raleos, forman parte de las acciones posteriores al aprovechamiento forestal que se deben aten-

der para garantizar que las actividades de extracción en el bosque de producción se ejecuten bajo los principios de impacto reducido [Dykstra y Elias, 2003]. Los raleos son tratamientos que se ejecutan a la masa forestal para garantizar una plantación de mejor desarrollo productivo para entregar al enlace de abastecimiento de las industrias forestales. Algunas empresas forestales cubanas dispensan una merecida atención a esta actividad silvícola de integración de cadenas cortas con material de raleo, en producciones de uso directo; pero otras no establecen de forma sistemática en sus bosques productivos la utilización de estos insumos con fines de incrementar el balance comercial de la implementación de tecnologías con valor agregado y de control ambiental, lo cual conduce a elevadas pérdidas maderables y económicas por este concepto.

Uno de los ejemplos de tecnologías con valor añadido son los productos aglomerados con adhesivos inorgánicos que han sido definidos por Moslemi (2003) como una familia de productos para la construcción que combinan las partículas y las fibras maderables con adhesivos como el cemento y el yeso; sin embargo, el empleo de insumos de origen agroindustrial demanda la necesidad de evaluar la composición química del material lignocelulósico empleado por presentar contenidos de extractivos que son potentes inhibidores del fraguado del cemento, por lo que requiere una evaluación química preliminar para estimar el comportamiento de estas materias primas vegetales y su incidencia en la tecnología.

El objetivo del trabajo es determinar la aptitud de los productos de raleo de *Pinus caribae* Mor., *Pinus tropicalis* Mor. y *Eucalyptus saligna* Sm. para elaboración de tableros mineralizados con cemento Pórtland como material de construcción a partir del estudio de los extractivos químicos de las fibras leñosas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

La madera utilizada para la ejecución de este ensayo se recibió en el Taller de Tecnología de la Madera del Instituto de Investigaciones

Forestales, procedente de zonas de plantaciones sometidas a intervenciones silviculturales en la provincia de Pinar del Río. Las muestras de las especies *Pinus caribaea* y *Pinus tropicalis* fueron tomadas de la Empresa Viñales, con edades de catorce y diecinueve años para las intensidades de raleo I y II, respectivamente. El material de *Eucalyptus saligna* perteneciente al raleo I contaba con una edad de tres años, mientras que la muestra de raleo II tenía cuatro años y pertenecían a la localidad de Las Taironas. Se seleccionaron al azar cuatro troncos apeados por cada especie, dos de ellas correspondían al raleo I y las restantes al raleo II, para completar las 12 trozas que garantizara las observaciones del diseño experimental. Para calcular del tamaño de la muestra se tomaron seis mediciones de las réplicas como ensayo piloto y se aplicó la ecuación:

$$n = cv^2 t^2 / e^2$$

donde:

n: 10, 77 trozas (como mínimo)

cv: Coeficiente de variación (10,22 %)

e: Error experimental (8 %)

t: *t* de student para cinco grados de libertad y el 95 % de confianza

Este material se descortezó en estado verde y fue apilado por espacio de treinta días para disminuir el contenido de humedad. Se tomaron 72 observaciones en total de una posición en el fuste de 1-1,5 m, distribuidas en 24 muestras por cada especie en las dos intensidades de raleo evaluadas. Posteriormente se cortaron en sierra circular para obtener rodajas de 2 cm de espesor, y se seccionaron en pedazos pequeños de forma manual hasta alcanzar dimensiones de 1 x 2 cm aproximadamente. Después se desintegraron en un molino de martillo y se clasificaron para ser usadas las partículas que pasaron por la malla de 20 mesh y fueran retenidas en la de 40 mesh. Las granulometrias obtenidas se depositaron en bolsas transparentes de polietileno y se identificaron con lápiz cristalográfico.

Diseño experimental

Se utilizó un bifactorial (3 x 2) en un diseño completamente aleatorizado con tres niveles

para el primer factor (especies maderables) y dos para el segundo (intensidades de raleo) para la prueba de compatibilidad efectuada por Manzanares (2006). Se realizó un análisis

de varianza de acuerdo con el diseño empleado con seis réplicas para cada tratamiento, y se efectuó una prueba de rangos múltiples de Duncan con un nivel de confianza del 95 %.

Factor A. Especies maderables

A₁ - *Pinus caribaea* Morelet

A₂ - *Pinus tropicalis* Morelet

A₃ - *Eucalyptus saligna* Smith

Factor B. Tratamientos silviculturales

B₁ - Raleo I (edad menor)

B₂ - Raleo II (edad mayor)

Se realizó una análisis de regresión lineal con cada una de las especies evaluadas para un modelo $y = a + bx$ entre la aptitud y el extractivo químico (taninos).

Análisis de extractivos tánicos

El análisis químico se realizó de acuerdo con lo señalado por Martínez (1989). El procedimiento para la obtención de la muestra se inicia con la colección de la biomasa raleada, el corte seguido del astillado, triturado y cribado. Se tomaron 100 mL de la solución tánica tratada con 5 mL de solución de acetato de plomo 0,1 Molar; el pH es ajustado con gotas de solución amoniacal y posteriormente se pasa por un papel de filtro. Se pipetea 50 mL de esta solución obtenida para un *beaker* de 100 mL. Se secan en estufa a 103 ± 2 °C y se pesan sucesivamente hasta alcanzar peso constante. Esta manipulación constituye el contenido de «no taninos» (polisacáridos, azúcares libres, algunos compuestos fenólicos, sales inorgánicas). El contenido de tanino se determina de forma indirecta por la diferencia entre los sólidos solubles y no taninos. Para el cálculo general de la solución tánica se ejecuta por la fórmula siguiente:

$$S = \frac{40(x)}{Pc} 100 = \%$$

donde:

S: Solución tánica

x: Peso en g de sólidos totales, sólidos solubles, taninos y no taninos en la alícuota

Pc: Peso seco de la muestra de madera

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Guy *et al.* (2010) informan que en el diagnóstico de la industria forestal cubana se obser-

va que las tecnologías de compuestos mineralizados en el estudio de caso de la Empresa de Macurijes pudiera constituir una opción viable para la producción del sector.

Pruebas de compatibilidad

Pinus caribaea Morelet alcanzó valores del coeficiente de aptitud del 84,10 y del 87,5 % para raleo II y III respectivamente, evaluados como *muy buenos* (Tabla 1). Esta clasificación obtenida es comparable con los estudios de aptitud realizados por Pimentel y Beraldo (2001) en la misma especie, con residuos de fábricas de lápices brasileñas. *Eucalyptus saligna* Smith registró un coeficiente de aptitud del orden del 68,5 y el 73,9 % para ambas intensidades de raleo, interpretado como *bueno*, pero más bajo que las dos especies de coníferas. Semple *et al.* (2002) refieren que con algunas especies del género *Eucalyptus*, tales como *E. smithii* y *E. badgensis* plantados en el oeste de Australia, obtuvieron respuestas tan favorables en la afinidad con el cemento Pórtland como con *Pinus radiata* Don. El análisis estadístico reveló que los tratamientos difieren significativamente debido a que *Eucalyptus saligna* Smith presentan los coeficientes de aptitudes más bajos que las cuatro variables restantes: V₂, V₄, V₁, V₃ (Tabla 1). La prueba de Duncan aplicada a los tratamientos expresa que no existen diferencias significativas entre el coeficiente de aptitud del *Pinus tropicalis* Morelet y el *Pinus caribaea* Morelet de catorce y diecinueve años asociado al raleo I y II, lo cual es un indicador en la selección como especies candidatas para la tecnología propuesta como fuente de materia prima, así como manejarlas mezcladas en la dosificación de tableros mineralizados.

Curvas de hidratación

El recorrido de las curvas de hidratación de *Pinus caribaea* Mor., *Pinus tropicalis* Mor. y *Eucalyptus saligna* Sm. (Figs. 1, 2, 3) revela una temperatura máxima (*Tm*) de la mezcla de prueba comprendido entre 42-48 °C para la trayectoria de raleo II (mayor edad), y para la etapa menor correspondiente al raleo I registra valores de 44,2-48,5 °C. Los dos rangos anteriores son clasificados como *altos* según criterio de Kamil (1970) [citado por Sutigno,

2002], especialista que examinó el efecto de *Paraseriantes falcataria* (siangón) sobre la temperatura de hidratación. Por otra parte, Megahed y Nasser (2000) especifican que las especies *Eucalyptus grandis* y *Casuarina glauca* necesitan algún tipo de tratamiento para elevar su compatibilidad, y una vez eliminados los extractivos solubles se advierte un cambio significativo en la temperatura máxima de hidratación que permite reclasificarla en una especie apta para la tecnología.

TABLA 1
Comparación de las medias del coeficiente de aptitud. Diseño (3 x 2)
Fuentes de variación: tratamientos, edades y especies maderables

Tratamientos	Promedios	Clasificación	Factor A	Promedios	Factor B	Promedios
V2 (Pt-19)	88,6 a	Muy buena	A1 (Pc)	86,55 a	B1 (edad <)	83,35 a
V4 (Pc-19)	87,5 a	Muy buena	A2 (Pt)	85,82 a	B2 (edad >)	79,03 b
V1 (Pt-14)	84,5 a	Muy buena	A3 (Eu)	71,20 b	E Sb = 0,79	
V3 (Pc-14)	84,1 a	Muy buena	E Sa = 0,96			
V6 (Eu-4)	73,9 b	Buena				
V5 (Eu-3)	68,5 c	Buena				

Medias con igual letra no difieren a *p* < 0,05.

En general se observa que la reacción exotérmica de la curva de compatibilidad presenta los valores más elevados de la tempera-

tura máxima de hidratación (*Tm*) en la madera de ambos pinos, mientras que eucalipto manifiesta un registro menor (Figs. 1, 2, 3).

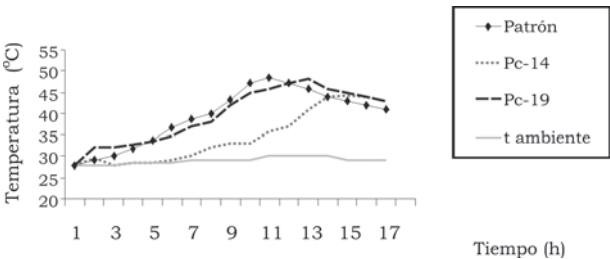


Figura 1. Curvas de hidratación de *Pinus caribaea* con cemento Portland

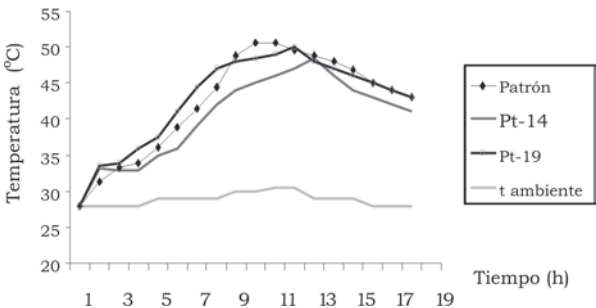


Figura 2. Curvas de hidratación de *Pinus tropicalis* con cemento Portland

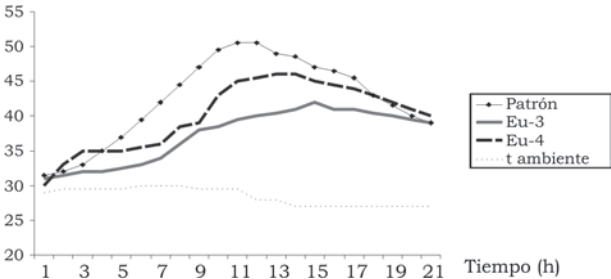


Figura 3. Curvas de hidratación de *Eucalyptus saligna* con cemento Portland

Evaluación de extractivos

Se observa en los tres materiales leñosos ensayados un contenido de sólidos solubles menores del 3,25 %, tolerancia propuesta por Valenzuela y Cruz (1983) en especies candidatas para la tecnología de compuestos con aglutinantes minerales (Tabla 2).

Se determinó un incremento de la compatibilidad en *Pinus caribaea* Mor., *Pinus tropicalis* Mor. y *Eucalyptus saligna* Smith, en correspondencia con la disminución de los extractivos solubles en agua. Los resultados son coincidentes con los reportes de Sutigno (2002) en *Tectona grandis* L.; sin embargo, se advierte una disminución de los valores del coeficiente de aptitud de *Eucalyptus saligna* Smith al compararlo con las coníferas analizadas, cuando aumenta el porcentaje de taninos (Tabla 2), que son sustancias inhibidoras del fraguado del cemento, según Cabangon *et al.* (2002).

Este comportamiento puede deberse a la presencia de polisacáridos y extractivos fenólicos

en la albura y duramen de la madera del género *Eucalyptus* [Semple *et al.*, 2002], compuestos que poseen una marcada influencia en el fraguado del cemento Pórtland y que paralizan el ascenso de la temperatura de hidratación de la reacción exotérmica. Arguello *et al.* (2005) señalan que cantidades del 0,25 % de azúcares y taninos referidos al cemento conducen a un envenenamiento del fraguado del aglutinante. Velázquez *et al.* (2007) determinaron que *Bursera simaruba* Sarg. resultó una especie incompatible con el cemento Pórtland por presentar el más alto contenido de sustancias sólidos solubles, y su temperatura máxima de hidratación no sobrepasó los 35 °C. Estos argumentos advierten la posibilidad de la ocurrencia de una dependencia de algunos extractivos químicos, posibilidad de la ocurrencia de una dependencia de algunos extractivos químicos como los taninos con la máxima principal, medida de los parámetros de termometría de las especies inspeccionadas.

TABLA 2
Evaluación de los extractivos de material de raleo

Especies	Edad/ raleo	Sólidos totales (%)	Sólidos solubles (%)	No taninos (%)	Taninos (%)	Coeficiente de aptitud (%)
<i>Pinus caribaea</i>	14/I	1,74	1,69 a	1,19 a	0,50 a	84,1
	19/II	1,28	1,26 b	0,99 b	0,27 b	87,5
<i>Pinus tropicalis</i>	14/I	2,18	2,07 a	1,72 a	0,35 a	84,5
	19/II	1,88	1,80 b	1,46 b	0,34 a	88,6
<i>Eucalyptus saligna</i>	3/I	2,67	2,60 a	1,19 a	1,41 a	68,5
	4/II	2,46	2,26 b	1,28 a	0,98 b	73,9

Análisis de regresión lineal

De acuerdo con el análisis de regresión lineal realizado, se observa que *Pinus tropicalis* Mor. presenta el coeficiente de correlación R equivalente a $-0,948463$. Este registro formula por su valor absoluto una relación relevante entre las variables estudiadas, y por el signo manifiesta una dependencia inversa

relativamente fuerte (Tabla 3). El estadístico R^2 indica que el modelo matemático obtenido explica un 89,9582 % de la variabilidad de la función compatibilidad. Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0,01, existe dependencia estadísticamente significativa entre compatibilidad y el contenido de tanino para un nivel de confianza del 99 % (Fig. 4).

TABLA 3
Resultados del análisis de correlación de compatibilidad con taninos de biomasa raleada de tres especies forestales

Especie raleada	r	r^2	Modelo	cv
<i>Pinus tropicalis</i> Mor. (pino hembra)	$-0,948463$	89,9582	$y = 132,744 - 116,352 x$	0,740138
<i>Pinus caribaea</i> Mor. (pino macho)	$-0,751421$	56,4633	$y = 90,1272 - 11,7194 x$	1,42033
<i>Eucalyptus saligna</i> Sm. (eucalipto)	$-0,656616$	43,1145	$y = 81,0035 - 8,30396 x$	2,56986

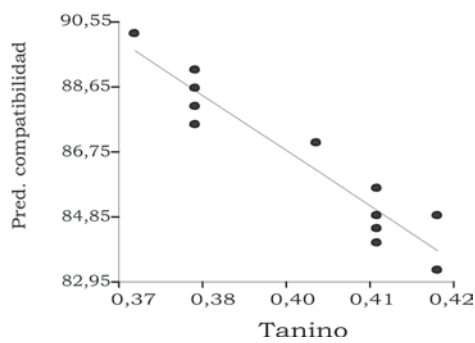


Figura 4. Análisis de regresión lineal de la aptitud de *Pinus tropicalis* de residuos de raleo con relación al contenido de taninos.

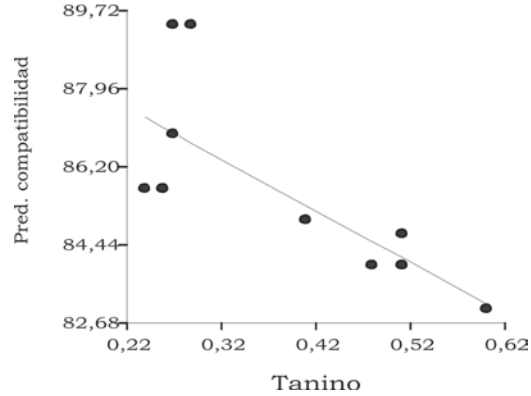


Figura 5. Análisis de regresión de la aptitud de *Pinus caribaea* de residuos de raleo con relación al contenido de taninos.

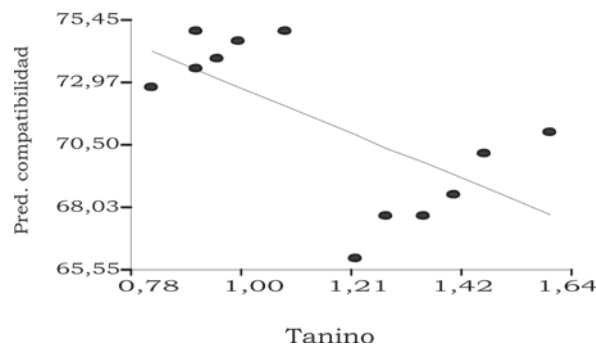


Figura 6. Análisis de regresión de la aptitud de *Eucalyptus saligna* de material de raleo con relación al contenido de taninos.

El estadístico R^2 para *Pinus caribaea* indica que el modelo explica un 56,4633 % de la oscilación de la variable dependiente compatibilidad de material de raleo (Tabla 3).

El coeficiente de correlación es igual a $-0,751421$. Expresa una relación moderadamente fuerte entre las variables (Fig. 5). El estadístico R^2 indica que para *Eucalyptus saligna* Sm. el

modelo explica un 43,1145 % de la movilidad en la variable dependiente compatibilidad de material de raleo. El coeficiente de correlación R es igual a $-0,656616$, revelando una relación moderadamente fuerte entre las variables estudiadas (Fig. 6). Los supuestos teóricos de los residuos de las tres ecuaciones de regresión lineal de la función compatibilidad acentúan que los modelos son adecuados (Tabla 4).

TABLA 4
Resultados del análisis de varianza de los modelos

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	P
Modelo Pc	26,163	1	26,163	12,97	0,0048
Residuos	20,1733	10	2,01733		
Modelo Pt	49,0742	1	49,0742	89,58	0,0000
Residuos	5,47804	10	0,547804		
Regresión Eu	50,0544	1	50,0544	7,58	0,0204
Residuos	66,042	10	6,6042		

CONCLUSIONES

- Se comprobó que las maderas de las dos coníferas occidentales y el eucalipto presentan diferentes niveles de aptitud con el cemento Pórtland debido a las diferencias en la composición química.
- Se confirmó que los taninos constituyen un extractivo en la madera de relevante importancia para la determinación de la afinidad con el cemento, por presentar una correlación inversa significativa en los tres materiales de raleo evaluados.
- Se observa una marcada influencia de los taninos con respecto a la compatibilidad en las tres especies estudiadas, que se manifiesta de manera fuerte en *Pinus tropicalis* Mor., moderada en *Pinus caribaea* Mor., y menos acentuada en *Eucalyptus saligna* Sm., a pesar de tratarse esta última de una especie latifolia.

BIBLIOGRAFÍA

- ARGUELLO, R., GATANI, M., BERRETA, H. 2005. *Componentes constructivos con cáscara de cacahuete (maní) y cemento. Primeros estudios sobre las incompatibilidades físico-químicos en el fraguado del material*. La Habana. CYTED. 200 p.
- CABANGON, P., ET AL. 2002. «Effect of Post-Harvest Storage on the Suitability of *Acacia mangium* for the Manufacture of Wood Wool Cement Board». ACIAR. Proceeding of Workshop of Wood cements Composites in Asia Pacific region-Canberra. 160 p.
- CÁRDENAS, I., ET. AL. 2008. *Manejemos el bosque*. La Habana. ACTAF. 66 p.
- DYKSTRA, D., ELÍAS, A. 2003. «El EIR se convierte en una realidad en Brasil». *Revista Actualidad Forestal Tropical* (JP) 11(4): 3-5.
- GILBERT, G., ET. AL. 2010. *Estudio de caso aserradero Combate de Tenerías. Empresa Forestal Macurijes*. La Habana. Servicio Estatal Forestal. 80 p.
- MANZANARES, K. 2006. «Desarrollo, caracterización y aplicación de elementos constructivos elaborados con partículas maderables y aglutinantes minerales». 120 h. Tesis (en opción al grado científico en Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.
- MARTÍNEZ, F. 1989. «Obtención y caracterización de taninos de cinco especies forestales que crecen en Cuba». 120 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Centro Nacional de Investigaciones Científicas.
- MEGAHED, O., NASSER, P. 2000. *Compatibility of Some Species with Pórtland Cement and its Enhancement Using Varies Treatment and Chemical Additives*. XXI IUFCO World Congress/Kuala Lumpur. 450 p.
- MOSLEMI, A. 2003. Comunicación personal. USA. Departamento Estudios Forestales. Universidad de Idaho.
- PIMENTEL, L., BERALDO, A. 2001. *Pinus caribaea Wood Portland Cement Mortar Composite for Roofing Tiles Fabrication*. Proceeding Agribuilding /Campinas/ Universidad de São Paulo. 200 p.
- SEMPLE, T., ET AL., 2002. «Compatibility of Eight Temperature Australian Eucalyptus Species with Portland Cement». Proceeding of Workshop Wood Cement composites in the Asia-Pacific region/ ACIAR/ Canberra. 160 p.
- SUTIGNO, P. 2002. «Effect of Aqueous Extractives of Wood wool on the Propertis of Cement Bonded Manufactures from teack (*Tectona grandis*)». Proceeding of Workshop Wood Cement composites in the Asia-Pacific region/ ACIAR/ Canberra. 160 p.
- VELÁZQUEZ, D., MANZANARES, K., GUERRA, C. 2007. «Aptitud de ocho especies latifolias que crecen en Cuba para formar aglomerados con cemento». *Revista Forestal Baracoa* (CU) 26(1): 99-105

RESEÑA CURRICULAR

Autor principal: Katia Manzanares Ayala

Doctora en Ciencias Forestales, investigadora auxiliar, profesora instructora de la Universidad de las Artes, ha sido oponente de varias tesis doctorales del Tribunal de Ciencias Forestales y de Maestría del Programa de Agricultura Urbana. Forma parte del colectivo de autores del libro *Bosques de Cuba*. Ha dirigido diferentes proyectos de investigación en el Grupo de Productos Forestales. Recibió premios en 2007-2009 y varios reconocimientos en el Foro de Ciencia y Técnica. Ha participado en eventos nacionales e internacionales.