

APTITUD DEL MATERIAL DE RALEO DE TRES ESPECIES FORESTALES
PARA FORMAR AGLOMERADOS CON CEMENTO

KATIA MANZANARES¹, DIGNA YELAZQUEZ², J L. VALDES³; O. MARTINEZ Y F. MORALES⁵

¹Investigador agregado e *investigador aspirante
Instituto de Investigaciones Forestales
Calle 174 No. 1723 entre 17B y 17C,
Siboney, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

³Investigador auxiliar y ⁴técnico medio
Instituto de Investigaciones de los Derivados de la Caña
de Azúcar
Vía Blanca No. 1804 esquina a Carretera Central,
San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba

⁵Investigador aspirante
Estación Experimental Forestal de Viñales
Viñales, Pinar del Río, Cuba

RESUMEN

Se examinan algunos tipos de residuos de material de raleo de las especies Pinus caribaea Mor., Pinus tropicalis Mor. y Eucalyptus Sw., con el objetivo de evaluar su compatibilidad con el cemento Portland, mediante el empleo del método de Sandermann, basado en la medición de la temperatura máxima de hidratación de una mezcla testigo y una de prueba. Se comprobó que tanto el Pinus caribaea Mor. como el Pinus tropicalis Mor. reúnen los requisitos básicos establecidos para la selección de especies compatibles por presentar un coeficiente de aptitud catalogado como muy bueno, mientras que el Eucalyptus saligna Sw. revelo tener diferencias significativas entre los valores del coeficiente de aptitud en comparación con las coníferas estudiadas, a pesar de tratarse de una madera de aceptable aptitud con el cemento. Por otra parte, se encontró la existencia de un moderado incremento del coeficiente de aptitud de las muestras ensayadas a medida que los árboles de material de raleo tienen mayor edad, lo que pudiera ser un elemento de interés en el balance de materia prima para los programas inversionistas de la industria de productos de madera-cemento.

INTRODUCCION

Los productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos ganan cada día una posición más sólida dentro de la rama de la construcción y de la silvicultura social, debido a los beneficios económicos que reportan como componentes del autoabastecimiento de las necesidades materiales de las comunidades rurales (1). Estos productos se obtienen de la unión de partículas o fibras de madera con cemento Portland, cemento de magnesio o yeso (2). El aglutinante de uso más difundido hasta el presente es el cemento Portland debido a las ventajosas características que confiere a la mercancía como son: la resistencia a las condiciones de intemperismo, al ataque de hongos, insectos y al fuego (2,3).

En numerosos países se han creado industrias de aglomerados de madera-cemento (tableros de partículas, tableros de lana de madera), y se han logrado operaciones exitosas en la elaboración y uso de este nuevo surtido (3,4,5). Sin embargo, estudios precedentes indican que no todas las especies forestales reaccionan favorablemente con el cemento Portland, y este grado de incompatibilidad se relaciona con algunos compuestos orgánicos presentes en la madera, tales como los azúcares, compuestos fenólicos y otros extractivos (6,7,8,9,10).

Weatherwax y Tarkow (7) comprobaron además que la presencia de corteza y madera descompuesta provoca dificultades en el fraguado del cemento. Otros autores han arribado a conclusiones similares (11,12,13,14) y en todos los casos se ha demostrado la influencia de la especie maderable como un factor determinante en el proceso de endurecimiento del aglomerante inorgánico. Sandermann y Kholer (6) sugieren un método para determinar la compatibilidad de un material lignocelulósico con el cemento Portland, basado en la medición de la elevación de la temperatura de hidratación de mezclas de estos materiales con agua en un sistema adiabático (termos). Una técnica con el mismo fundamento pero realizada con pequeñas modificaciones fue utilizada por Weatherwax y Tarkow (7), la cual fue empleada también en este trabajo, que tiene como objetivo analizar los valores del coeficiente de aptitud de tres especies maderables (Pinus caribaea, Pinus tropicalis y Eucalyptus saligna) con el empleo del método de Sandermann. Estos resultados obtenidos pueden representar una posible fuente de materia prima para una planta de tableros de madera-cemento a ubicar en el complejo silvoindustrial de Ponce, Pinar del Río, así como para la fabricación de elementos de paredes moldeados in situ, como solución constructiva microlocalizada para la práctica de la silvicultura comunitaria.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Forestales (IIF) y en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA).

Toma de muestra

La madera empleada en este estudio se recibió en el IIF entre los meses de mayo y junio de 1987, procedente de zonas de plantaciones sometidas a tratamientos silviculturales (raleo) de la provincia de Pinar del Río. Las características de las muestras se presentan a continuación

Especie	Procedencia	Edad (años)	DAP (cm)	Altura (m)	Intensidad de raleo
<u>Pinus tropicalis</u>	Viñales	14	10,40	8,70	II
	P. del Río	19	13,40	13,23	III
<u>Pinus caribaea</u>	P. del Río	14	9,50	9,70	I I

(Continuación) -

		19	10,70	11,76	III
<u>Eucalyptus saligna</u>	Taironas	3	12,90	8,10	II
	P. del Río	4	17,50	13,40	III

Se cortaron un total de 18 troncos de madera a razón de seis árboles por cada especie durante el curso del mes de abril de 1987, y de cada uno se obtuvieron dos secciones de 1 m de longitud a partir de la base. Los bolos se descortezaron en estado verde (con un contenido de humedad mayor de 25 %) y se apilaron por espacio de 30 días para disminuir el contenido de humedad. Posteriormente se trocearon en una sierracircular para obtener rodajas, las que se seccionaron en forma manual en pedazos pequeños para alcanzar dimensiones de 1 cm x 2 cm, aproximadamente. La sección correspondiente a cada bolo secado al aire se desintegró en un molino de martillo con 3 mm de criba. Después las astillas producidas se clasificaron por tamices de 0,8 y 0,4 mm de abertura, empleando para los ensayos el retenido entre estas dos mallas.

Procedimiento de preparación del ensayo

- Muestra de comparación (patrón): 200 g de cemento y 100 mL de agua destilada.
- Muestra de prueba: 200 g de cemento, 100 mL de agua destilada y 20 g de madera en base seca.

Las muestras de comparación (patrón) y de prueba se prepararon a mano en un mortero de porcelana. Se mezclan primeramente las partículas de madera con el cemento P-350 con ayuda de un agitador de vidrio. Posteriormente se añade el agua y se agita durante cinco minutos hasta alcanzar una distribución uniforme de los componentes de la mezcla. Para realizar el ensayo se emplea un registrador de temperatura de seis canales modelo Arucomp 4902 (Figura 1) así como termos adiabáticos. Cada muestra se deposita en un vaso de cartón parafinado, se coloca dentro del termo, y se le inserta una termorresistencia Pt-100 tal como muestra la Figura 2.

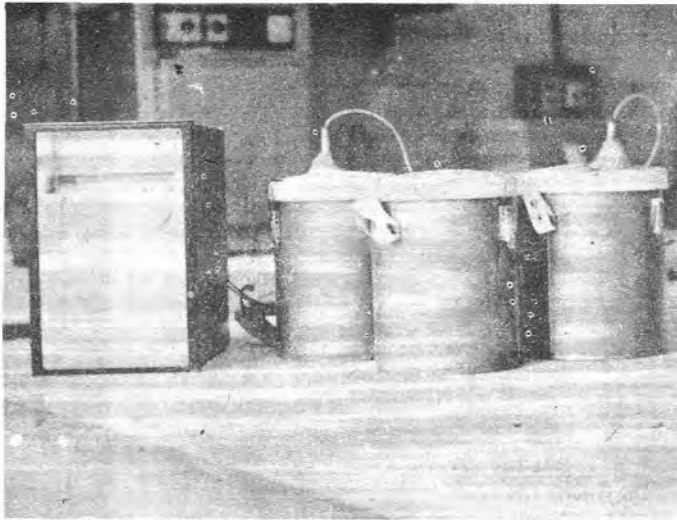


FIGURA 1. Vista del equipo registrador Arucomp 4902.

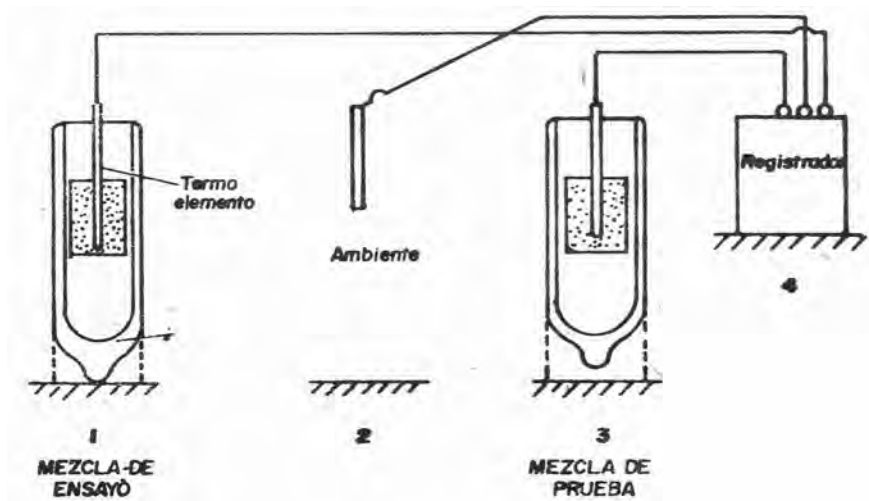


FIGURA 2. Esquema del sistema registrador de la temperatura de hidratación.

Ensayo de aptitud de la madera

Por medio de este procedimiento se puede determinar el grado de afinidad de la madera con el cemento Portland basado en el recorrido de las curvas de temperatura de hidratación del aglutinante hidráulico mezclado con partículas de madera en comparación con una mezcla de cemento y agua (testigo). Una vez obtenida esta curva de temperatura contra el tiempo, se procede al cálculo del coeficiente de aptitud a través de la fórmula siguiente:

$$A = \frac{T_m - T_0}{T'_M - T_0} \quad (11)$$

donde :

A = coeficiente de aptitud (%)

T = temperatura máxima de la muestra de ensayo

T_M['] = temperatura máxima de la muestra patrón

T₀ = temperatura ambiente.

Algunos autores han planteado diferentes enfoques para medir la compatibilidad de las especies maderables con el cemento Portland. Weatherwax y Tarkow (7) fueron los primeros en proponer la fórmula del índice inhibidor con el empleo del tiempo de hidratación (t_z), pero la referida ecuación fue mejorada por Mosleimi y Lim (8) con la inclusión de la temperatura máxima de hidratación (T_z) y la pendiente ascendente de la curva (S).

No obstante, en este estudio se escoge el artificio matemático realizado por Vilela y Du Pasquier (11) por la sencillez de la determinación y porque la variable temperatura de hidratación es el efecto más importante de acuerdo con Sandermann y Kholer (6), Moslemi y Lim (8), Zhengtian y Moslemi (14), Lee y Hong (9) y Hofstrand et al (3).

Diseño experimental

Se utilizó un modelo bifactorial (3 x 2) en un diseño completamente aleatorizado. Para la evaluación estadística de los resultados se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 99 % y, además, se efectuó una prueba de rangos múltiples de Duncan.

Factor A	A ₁	<u>Pinus tropicalis</u> Mor.
Especies maderables	A ₂	Pinus <u>caribaea</u> Mor.

	A3	<u>Eucalyptus saligna</u> Sw.
Factor a	B₁	Raleo II (asociado a la edad mayor)
Tratamiento silvicultural (raleo)	B2	Raleo III (asociado a la edad menor)

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores obtenidos en los ensayos realizados, así como los coeficientes de aptitud calculados para cada madera evaluada se exponen en la Tabla 1. Se observa que el mayor desprendimiento de calor se registra en la especie Pinus tropicalis Mor. con un intervalo de temperatura entre 47-50 °C, en un tiempo promedio de nueve horas, y el coeficiente de aptitud promedio alcanzó un valor de 86,55 % catalogado como muy bueno. Lee y Hong (9) informan en Pinus palustris Mill. una temperatura media de hidratación para madera secada al aire sin aditivos de 51,1°C alcanzada en 10,3 horas, valores muy cercanos al obtenido en este experimento por el Pinus tropicalis Mor. Por otra parte, otros investigadores informan un período aproximado de ocho horas como tiempo requerido para alcanzar la máxima temperatura de hidratación a partir del inicio de la reacción exotérmica en Pinus monticola, Pinus ponderosa, Abies grandis, Pinus cortota var. latifolia y Plcea engelmanni (8). En el Pinus caribaea Mor. se registraron valores de 86,55 % clasificados como muy buenos, que se corresponden con la curva de compatibilidad del tipo II encontrada por Sandermann en la misma especie (6). Para el caso del Eucalyptus saligna Sw. se obtuvo un coeficiente de aptitud aceptable del orden de 71,20 %. Vilela y Du Pasquier (11) estudiaron 27 especies tropicales de diferentes géneros dentro del grupo de las latifolias y refieren valores similares a los encontrados en el eucalipto, en la especie Callophyllum moriae (75 %):

En la Figura 3 se presentan curvas de compatibilidad representativas de la temperatura de hidratación en función del tiempo de las especies ensayadas. La primera trayectoria se identifica con la muestra patrón (0) y el resto corresponde a las muestras de prueba. El recorrido de las curvas revela un rango máximo de liberación de calor para la mezcla de prueba (Tm), comprendido entre 41-56°C, registrado en el intervalo de 8,5-11,5 horas. Lee y Hong (9) informan valores entre 32-51°C para la temperatura máxima de hidratación en madera seca sin aditivo para las seis especies estudiadas. Si se examina el comportamiento típico de las reacciones de la curva

TABLA 1. Especies estudiadas por Arucomp.

Especiea maderables	Edad raleo (años)	Trata- miento código	Mezcla patrón		Mezcla prueba		T _a Temp. ambiente (°C)	Coefi- ciente aptitud (%)	Clasifi- ca- ión	Coef. de aptitud (%)	
			T _m Temp. máxima (°C)	T ₂ Tiempo hidratación (h)	T _m Temp. máxima (°C)	t ₂ Tiempo hidratación (°C)				Por trata- miento	Por especie
<i>Pinus tropi- calis</i> Pino hembril	14/II	V ₁	52	8,5	49,0	9,5	31	85,7	Muy buena	84,5	86,55
			50,5	9,5	47,0	11,4	29,5	83,3	Muy buena		
	19/III	V ₂	52	8,0	50,0	8,5	31,5	90,2	Muy buena		
			50	8,5	47,4	9,3	30	87,0	Muy buena		
<i>Pinus caribaea</i> Pino macho	14/II	V ₃	48	9,0	44,6	10	28,0	83,0	Muy buena	84,1	86,55
			49	8,5	46,0	9,5	29,0	85,0	Muy buena		
	19/III	V ₄	47	10,0	45,0	11	28	84,4	Muy buena		
			51	9,0	48,0	10	30	85,7	Muy buens		
<i>Eucalyptus saligna</i> Eucalipto	3/II	V ₅	52	8,5	46,0	11,5	31,3	71,0	Buena	68,5	71,20
			48	10	42,0	13,5	30,3	66,0	Buens		
	4/III	V ₆	52	9	46,0	10,5	29,9	72,8	Buena		
			51	9,0	46,0	11,3	31	75,0	Buena		

El análisis de varianza revela que los tratamientos difieren significativamente, a consecuencia de que el eucalipto de ambas edades presenta los coeficientes de aptitudes más bajos que las cuatro variantes restantes (V_1 , V_2 , V_3 , V_4). De ahí que la compatibilidad entre especies sea altamente significativa (Tabla 2).

TABLA 2. Comparación de medias del coeficiente de aptitud de las fuentes de variación: tratamientos, edades y especies maderables.

Tratamientos	Promedios
V_2	88,6 ^a
V_4	87,5 ^a
V_1	84,5 ^a
V_3	84,1 ^a
V_6	73,9 ^b
V_5	68,5 ^c
$ES_V = 1,37$	
Factor A	
A_1	86,55 ^a
A_2	85,82 ^a
A_3	71,20 ^b
$ES_A = 0,96$	
Factor B	
B_1	83,35 ^a
B_2	79,03 ^a
$ES_B = 0,79$	
a-CMedias con igual letra no difieren a $P < 0,01$.	

Algunos autores que han estudiado gran número de especies blandas y duras coinciden en afirmar que la influencia inhibidora varía en concordancia con la especie seleccionada, la ubicación geográfica; la época de corte y los componentes químicos de la madera (4,5,7). La comparación de las medias de la prueba de Duncan aplicada a los tratamientos señala que no existen diferencias significativas entre el coeficiente de aptitud del Pinus tropicalis Mor. y el Pinus caribaea Mor. de -14 y de 19 años, dual permite su empleo en los pronósticos de demanda de materia prima para la industria sin establecer un orden de prioridad. El Eucalyptus saligna Sw. muestra una evidente diferenciación de la compatibilidad con relación a las coníferas y con la edad en la propia especie, cuestiones que se resaltan en la Tabla 2.

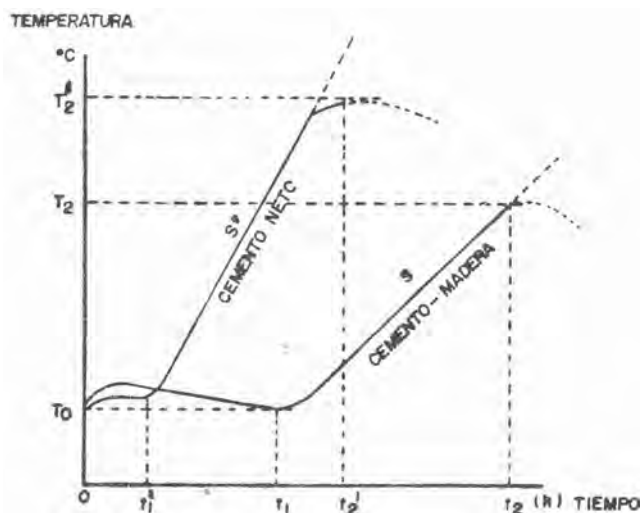


FIGURA 4. Representación esquemática de la curva de hidratación típica.

En la Figura 5 se advierte un ligero incremento del coeficiente de aptitud del Pinus tropicalis Mor., Pinus caribaea Mor. y Eucalyptus saligna Sw., cuando aumenta la edad de los árboles, a pesar de que las interacciones edad-especie y los niveles del factor B no sean significativos (Tabla 2). Este fenómeno puede atribuirse a la posible reducción de los niveles de taninos, carbohidratos, azúcares y otros extracti-

vos solubles en agua, **presentes en la muestra (7,9,13,14,15)** a medida **que** aumenta la edad del material leñoso, además de particularidades estructurales **de** la especie debido al **género**.

Martínez et al. (12) encontraron en la corteza de Pinus caribaea Mx una tendencia parecida al afirmar **que** el **rendimiento** de tanino extraíble decrecía logarítmicamente con el aumento de la edad de los árboles. Estas consideraciones conducen a inferir la probabilidad de **que** la edad asociada a la intensidad de raleo **resulte** un elemento importante en las fluctuaciones del coeficiente de aptitud de las especies forestales estudiadas, lo **que constituye un aspecto de sumo interés**, **no** tratado **con** anterioridad por la literatura.

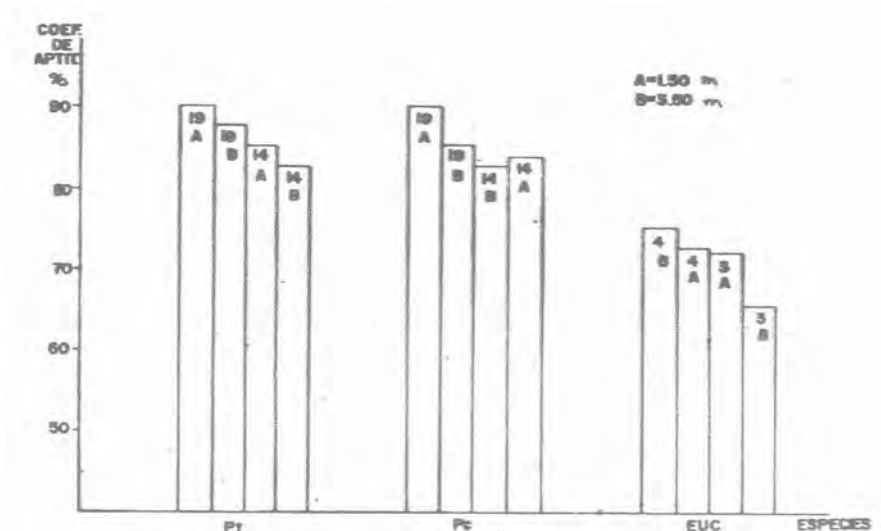


FIGURA 5. Coeficiente de aptitud por edades para las especies estudiadas.

CONCLUSIONES

Hubo diferencias significativas entre los tratamientos de las especies estudiadas, por el hecho de **que** el Pinus tropicalis Mor. y el Pinus caribaea Mor. de ambas edades (raleos II y III) son factibles de ser empleados en la tecnología de fabricación de productos aglomerados con cemento Portland, por alcanzar un coeficiente de aptitud promedio superior a 1

80 %, catalogado como muy bueno. El *Eucalyptus saligna*, aunque obtuvo la respuesta más baja de la variable estudiada, clasificó en la categoría de buena (71,2 %). Las curvas de hidratación típicas de la mezcla de prueba muestran un periodo de reacción- ($t_0 - t_2$) menor de 15 horas, y la fase ($t_2 - t_1$) enmarcada desde la iniciación de la reacción exotérmica hasta el tiempo en alcanzar la máxima principal (T_m), transcurre en un periodo menor de ocho horas para los pinos y de, aproximadamente, 10 horas para el caso del eucalipto por tratarse de una especie latifolia.

Se aprecia un moderado incremento de los valores del coeficiente de aptitud de las tres especies evaluadas cuando aumenta la edad de los árboles muestreados, lo cual pudiera constituir un indicador de interés en los pronósticos de demanda de materia prima para los planes inversionistas de la industria de productos de madera-cemento.

ABSTRACT

APTITUDE OF THINNING MATERIAL FROM FOREST TREES FOR CEMENT BOND WOOD BOARDS

Waste material from thinnings of *Pinus caribaea* Mor., *Pinus tropicalis* Mor., and *Eucalyptus* Sw., was tested to evaluate the compatibility with Portland cement, using Sandermami's method based on measurement of maximum hydration temperature of a control mixture and probe. *Pinus caribaea* Mor. and *Pinus tropicalis* Mor. have the basic requirements established to select compatible species because they have a good aptitud factor; *Eucalyptus* Sw. had variable aptitud factors when related with the studied softwoods even if it has an acceptable aptitude with cement. There is a slight increment in the aptitude factor in samples tested coming from waste of older trees, this could be interesting for the balance of raw material in investment programs in wood-cement industry.

BZBLIOGRAFIA

1. BOEHNERT, 3. La agroforesterfa en la educación agricola con énfasis ensu aplicación prhctica. -- Gaimer-shein: Scientific Books, 1988. -- 182 p.
2. VALDES, J. L., J. PUIG y MA. ELENA RODRIGUEZ. Tableros de partículas aglutinados con yeso. Revista ICIDCA 22 (2) : 54-57, 1989.
3. HOFSTRAND, A. D., A. A. MOSLEMI and J. F. GARCIA. Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. Forest Products Journal 43 (2) : 57-61, 1984.
4. FRASER, H. R. Cement board finds fast acceptance. World Wood 18 (3) : 11-13, 1977.
5. FISHER, F., Ø. WIENHAUS, M. RYSSEL and J. Olbrecht. The water soluble carbohydrates of wood and their influence on the production of lightweight wood boards. Holztechnologie 15 (1) : 12-19, 1974.
6. SANDERMANN, W. and R. KHOLER. Studies o nmineral bonded wood material. IV. A short test of the aptitudes of wood for cement borden materials. Holzforschung 18 (12). : 53-59, 1964.
7. WEATHERWAX, R. C. and H. TARKOW. Effect of wood on setting of Portland cement. Forest Products Journal 14 (21) : 567-570, 1964.
8. MOSLEMI. A. A. and T. LIM. Compatibility of southern hardwoods with portland cement. Forest Products Journal 34 (78) : 22-26, 1984.
9. LEE, A. W. and Z. HONG. Compressive strength of cilindri-cal samples as an indicator of wood-cement compati-bility. Forest Products Journal 36 (11-12) : 87-90, 1986.
10. VALDES, J. L. Productos aglomerados con aglutinantes inorghnicos (minerales) . Revista ICIDCA 17 (1) .: 18-23, 1985.
11. VILELA, E. y B. DUPASQUIER. Determinación del coeficien-te de aptitud de un grupo de maderas para su posiblc aplicación en la fabricación de tableros de pajilla de madera-cemento. Revista Forestal venezolana 11 (16) : 75-84, 1968.

12. MARTINEZ, F., J. M. MENENDEZ, R. GONZALEZ y CH. HAREWOOD.
Obtención *de* taninos a partir de corteza de dos especies de pinos cubanos. Revista Forestal Baracoa 13 (1) : 51-64, 1983.
13. SANDERMANN, W., H. R. PREUSSER and W. SCHWIENS. Effect of good extractive on the setting of cement bonded good material. Holzforschung 14 (3) : 70-77, 1960.
14. ZHENGtian, L. and A. A. MOSCEMI. Effect of western larch extractives on cement setting. Technical note. Forest Products Journal 36 (1) . 53-54, 1986.

Manuscrito recibido para su publicación 30 de mayo de 1990.