

# FABRICACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS DE PARTÍCULAS DE LA ESPECIE *HEVEA BRASILIENSIS* (CAUCHO) CON RESINA SINTÉTICA DEL TIPO UREA FORMALDEHÍDO

Dario A. Garay J<sup>1</sup>. Jorge A. Durán P.<sup>2</sup> Pablo A. Moreno P.<sup>3</sup>  
Clemente R. Salazar<sup>4</sup>. Enever I. Urrea M<sup>5</sup>.

## RESUMEN

*Hevea brasiliensis* de 25 años de edad proveniente de la plantación del Campo Comparativo de Trapichote del Orinoco, Estado Amazonas, fue utilizado en la elaboración experimental de tableros aglomerados de partículas a dos niveles de densidad teórica (nominal) de 0,600 g/cm<sup>3</sup> y 0,800 g/cm<sup>3</sup>, a un nivel de contenido de resina de urea formaldehído del 8%, 7% de catalizador de sulfato de amonio al 30% de concentración, a un contenido de humedad del colchón al momento del prensado de aproximadamente 12% y a dos tiempos de prensado de 5 y 20 minutos.

Las propiedades físicas y mecánicas de los tableros fueron determinadas siguiendo las estipulaciones de las Normas Alemanas DIN y Venezolanas Covenin 847-91. Las propiedades físicas fueron la absorción de agua y la *variación de espesor o estabilidad dimensional a las 2 y 24 horas por inmersión* total en agua, las propiedades mecánicas fueron la resistencia a la flexión (módulo de ruptura) y tracción perpendicular a la superficie del tablero.

Las propiedades físicas de absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión para tableros de densidad 0,600 g/cm<sup>3</sup> no cumplen con los requerimientos máximos estipulados por la Norma Covenin 847-91. La absorción de agua a 2 horas de inmersión para tableros de 0,600 g/cm<sup>3</sup> de densidad no cumplen con el valor máximo de 25% estipulado por la norma, los tableros de densidad 0,800 g/cm<sup>3</sup> a 24 horas de inmersión si cumplen con lo estipulados por la Norma. La *variación de espesor a 2 horas de inmersión* para tableros de 0,600 g/cm<sup>3</sup> y

---

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, MsC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>2</sup> B. Sc. Químico, PhD. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>3</sup> Ingeniero Forestal, MSC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>4</sup> <sup>5</sup> Ingeniero Forestal.

0,800 g/cm<sup>3</sup> de densidad no cumple con los valores máximos estipulados por la norma. La variación de espesor para 24 horas para tableros con 0,600 g/cm<sup>3</sup> y 0,800 g/cm<sup>3</sup> de densidad si cumplen con los máximos estipulados por la norma Covenin 847-91. Los valores obtenidos de las propiedades mecánicas de Flexión Estática y Tracción Perpendicular para tableros de densidad 0,600 g/cm<sup>3</sup> y 0,800 g/cm<sup>3</sup> cumplen cabalmente con las exigencias de la Norma Covenin 847-91 y DIN.

**Palabras Clave:** Tableros aglomerados de partículas, resinosidad, urea formaldehído, *hevea brasiliensis*, caucho.

# PRODUCTION OF PARTICLEBOARD OF THE SPECIE *HEVEA BRASILIENSIS* (RUBBER) WITH SYNTHETIC RESIN OF THE TYPE FORMALDEHYDE UREA

Dario A. Garay J<sup>2</sup>. Jorge A. Durán P.<sup>2</sup> Pablo A. Moreno P.<sup>3</sup>  
Clemente R. Salazar<sup>4</sup>. Enever I. Urrea M<sup>5</sup>.

## ABSTRACT

Twenty five years-old *Hevea brasiliensis* trees from the plantation of the comparative field of Trapichote of the Orinoco, Amazonas State, were used for the manufacture of laboratory particleboards at two density levels of 0.600 and 0.800 g/cm<sup>3</sup>, at 8% formaldehyde urea resin content, 7% ammonium sulphate solution content as the catalyst at 30% of concentration, 12% mat moisture content, and at two pressing time periods of 7 and 20 minutes.

Physical and mechanical properties of the particleboards were evaluated according to the specifications established by DIN Standards and COVENIN Norm 847-91. The physical properties were the water absorption and thickness swelling at 2 and 24 hours by water immersion test; the mechanical properties were determined by static bending test (MOR) and by the tension perpendicular to the board surface tests (IB).

The physical properties of water absorption at 2 and 24 hours of immersion for boards of density 0,600 g/cm<sup>3</sup>, do not comply with the requirement demanded by the DIN Norm and COVENIN Norm 847-91. The water absorption at 24 hours of immersion for boards of density 0,600 g/cm<sup>3</sup>, do not comply with the value maxim of 25 % demanded by the Norms, the boards of density 0.800 g/cm<sup>3</sup> at 24 hours of immersion meet the requirement demanded by the Norms. The thickness swelling at 2 hours of immersion for boards of density 0,600 g/cm<sup>3</sup> and 0,800 g/cm<sup>3</sup>, do not comply with the requirement demanded by the norms. The thickness swelling at 24 hours for boards with

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, MsC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>2</sup> B. Sc. Químico, PhD. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>3</sup>Ingeniero Forestal, MSC. Profesor de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, U.L.A. Mérida, Venezuela. <sup>4</sup><sup>5</sup> Ingeniero Forestal.

density of 0,600 g/cm<sup>3</sup> and 0,800 g/cm<sup>3</sup> meet the requirements demanded by the DIN Norm and COVENIN Norm 847-91.

The obtained values of the mechanical properties of static bending and tension perpendicular to the board surface a density of 0,600 g/cm<sup>3</sup> and 0,800 g/cm<sup>3</sup>, meet the requirements demanded by the DIN Norm and COVENIN Norm 847-91. Results of the physical and mechanical properties for the treated CCA particleboards with a density of 0.600 g/cm<sup>3</sup>, at the three concentration levels of the CCA solution of 0.5, 1.0, and 1.5% respectively, do not comply with the requirement demanded by the DIN Norm and COVENIN Norm 847-91. On the other hand, the results for the treated CCA particleboards with a density of 0.800 g/cm<sup>3</sup>, at the three concentration levels of the CCA solution of 0.5, 1.0, and 1.5% respectively, meet the requirements demanded by the DIN Norm and COVENIN Norm 847-91.

**Keywords:** particleboards, resinosity, formaldehyde urea, hevea brasiliensis, rubber.

## INTRODUCCIÓN

La heveacultura, así como sucede con otros cultivos, por causa de los caracteres de renovabilidad y disponibilidad en bases sustentables, se ha vuelto atractiva desde el punto de vista ecológico (Rahaman, 1995). El caucho es relativamente nuevo, comparado con otras especies tradicionalmente consagradas en el mercado, el cual puede ser sustituto de otras maderas en términos de trabajabilidad y uso.

*Hevea brasiliensis* es una especie autóctona de la cuenca del Amazonas. En el siglo XIX, Brasil era el principal productor de látex de hevea que se recolectaba del sangrado de los árboles en el bosque natural. El sangrado de los árboles de caucho comienza entre el quinto y séptimo año después de la plantación, y se prolonga durante 25 a 30 años. Transcurrido este tiempo, la disminución de la producción de látex hace que el sangrado de los árboles resulte antieconómico. En este momento, se talan los árboles y se sustituyen por nuevas plántulas. En nuestro país esta actividad se centra principalmente en la amazonia venezolana, la misma se viene desarrollando desde hace varios años atrás, cuya obtención es la de látex para la industria del caucho.

La cosecha de madera se hace aproximadamente a los 25 años con la finalidad de renovar la plantación que ya presenta un decrecimiento en su producción de látex. La mayoría de las plantaciones presenta problemas en su conformación de troncos para su aprovechamiento, como madera aserrada o chapa, esto origina que una fracción pequeña (20% aproximadamente) del volumen en rollo total del árbol sea aprovechado como tablas, tablones, chapa o playwood. Esto da pie a que el mayor volumen de madera se aproveche como fuente de energía, ya sea en leña o procesando carbón muy utilizado en fundición; o en la producción de chips, tanto para tablero como para pulpa.

Raymond, 1993, estimó que sobre la base de una recuperación de madera aserrada del 25 al 45 por ciento, solamente el 5 por ciento del volumen de madera de los árboles de caucho se han convertido en productos de madera, mientras que el resto ha permanecido en las plantaciones o se ha quemado,

Se afirma que los pequeños propietarios suministran trozas de menor calidad porque dedican más atención a las cuestiones de ordenación y a la adopción de prácticas adecuadas de sangrado. Un estudio realizado en Malasia puso de

manifiesto que solo el 18 por ciento de las trozas de caucho cosechadas en pequeñas propiedades eran adecuadas para el aserradero (Killmann, 2000).

Kollert y Zana, 1994, manifiestan que el precio reducido de las trozas de caucho, particularmente cuando son de baja calidad, hace que su venta solo reporte a los pequeños propietarios beneficios insignificantes. Esta es la causa por la que a menudo los pequeños productores optan por quemar las trozas o dejar que se pudran en la plantación una vez taladas.

Salleh, 1984, señala 61 productos diferentes de madera de caucho. Sus usos más importantes son los muebles y sus partes, el parquet, los tableros de madera (tableros de partículas, tableros encolados con cemento y yeso, y tableros de fibra de densidad media), productos de cocina y artículos innovadores, así como en forma de madera aserrada para usos generales y como combustible.

Okino, 1999, realizó estudios con cuatro clones de *Hevea brasiliensis*, para producir tableros de partículas y tableros de hojuelas (flakes), utilizando urea formaldehído al 10% de resinosidad basado en el peso de las partículas y cloruro de amonio al 5% como catalizador. Los tableros fabricados fueron de densidad nominal de 0,700 kg/cm<sup>3</sup>, con dimensiones de 550 mm x 550 mm x 13 mm. Los resultados promedio de las propiedades mecánicas como flexión estática y tracción perpendicular superaron el valor mínimo exigido por la norma DIN 68761.

Estudios realizados por Wong y Ong, 1979, con hojuelas de *Hevea brasiliensis*, utilizando resina urea formaldehído al 6 y 8% de resinosidad basado en el peso seco de las partículas y 1% de cera, siendo mezcladas en una encoladora Drais para la fabricación de tableros aglomerados, demostraron que las propiedades de los tableros mejoraron con un aumento en el contenido de resina. Todos los tableros presentaron buenas características de resistencia, excediendo las normas especificadas en British Standard 2604. Los valores de variación de espesor de todos los tableros estuvieron muy por debajo del 12% máximo estipulado en British Standard 2604.

El talado del árbol de caucho, después de ser extraído el látex, originará un alto volumen de madera que podría ser utilizada por parte de empresas procesadoras de madera, como también un alto volumen de desperdicios (ramas, copas, fustes deformes y de poco diámetro, etc.) que generará problemas ambientales y problemas de subutilidad de las áreas disponibles para

replantar la especie. En otro caso, por el poco valor comercial que tiene la especie, este material es acumulado y posteriormente quemado, lo que hace necesario realizar estudios tecnológicos del caucho en el área de tableros aglomerados que permitan obtener un producto de valor agregado con buenas propiedades físicas y mecánicas que permitan que los mismos participen en el comercio de tableros aglomerados a base de madera.

## OBJETIVOS:

- Evaluar la influencia de dos niveles de densidad de tableros y un nivel de resinosidad sobre las propiedades físicas y mecánicas de tableros fabricados con partículas de *Hevea brasiliensis*.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de partículas de *Hevea brasiliensis*.
- Comparar los valores de las propiedades de los tableros con los valores mínimos y máximos de las Normas Alemanas DIN y Venezolanas Covenin que regulan los mismos.
- Comparar los resultados de la presente investigación con estudios similares realizados por otros autores.

## MATERIALES Y METODOS

### Materiales

El estudio se realizó con recortes y costaneras de árboles de *Hevea brasiliensis* provenientes de la plantación del Campo comparativo de clones de Trapichote del Orinoco, estado Amazonas. Los recortes y costaneras se aserraron con la sierra circular en bloques de 9 cm x 9 cm x 18 cm de dimensiones, con la finalidad de facilitar el acceso a la maquina viruteadora y producir las partículas de madera. Estas fueron almacenadas en bolsas plásticas con un contenido de humedad superior al 40%.

Como aglutinante se utilizó cola de urea formaldehído con un contenido aproximado de sólidos de 60 %, tiempo de gelación 2 min., peso específico 1,2675; porcentaje de formol libre 0,6; una viscosidad de 255 cps y un pH de 8,31 en una proporción del 7% con respecto al peso seco al horno de las

partículas. Se utilizó el sulfato de amonio como catalizador al 30% de concentración de sólidos para acelerar el proceso de fraguado de la cola, en una proporción del 7% en base a la resina líquida utilizada, como solvente se utilizó el agua.

## **Equipos**

Para la elaboración de las muestras de ensayo del presente estudio se emplearon los equipos del Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC), específicamente de las secciones de aserrío, aglomerados, contrachapados, y ensayos de la madera.

## **Viruteado y tamizado de las partículas**

El proceso de viruteado y tamizado de las partículas se efectuó mediante acople directo y sistemático de las máquinas respectivas, conectadas entre sí por un sistema de transporte neumático de la sección de tableros aglomerados del Labonac. Los bloques de madera fueron procesados en la viruteadora de disco marca Bezner, obteniéndose partículas con las dimensiones siguientes: 21,465 mm de largo, ancho variable y 0,264 mm de espesor.

## **Secado de las partículas**

El secado de las partículas fue realizado en la secadora de suspensión marca Freas de la sección de contrachapados en forma controlada a una temperatura promedio de 75 °C hasta obtener un contenido de humedad menor o igual a 4%.

## **Coefficiente de Esbeltez**

Para determinar la geometría y tamaño de las partículas se tomaron porciones de muestras al azar de diferentes bolsas, las cuales se pesaron y se clasificaron de acuerdo a su tamaño en grandes, medianas y pequeñas. Cada grupo se pesó

y de cada uno de ellos se tomaron 30 muestras para determinarles su largo, ancho y espesor. Con los datos de peso se determinó la proporción en que cada grupo participa en los tableros. Con los promedios de largo y espesor, se calculó el coeficiente de esbeltez, mediante la siguiente fórmula matemática:



$$E = \frac{l}{e}$$

Donde:

*E* = Coeficiente de Esbeltez

*l* = Longitud de las partículas (mm)

*e* = espesor de las partículas (mm)

## Componentes definitivos de los tableros

Densidad Nominal 0,600 gr/cm <sup>3</sup> , 12% de contenido de humedad		Densidad Nominal 0,800 gr/cm <sup>3</sup> , 12% de contenido de humedad	
Partícula (4% de C.H.):	2.965 grs.	Partícula (4% de C.H.):	3.953 grs.
Cola líquida (U.F) :	381 grs.	Cola líquida (U.F):	507 grs.
Agua:	104 grs.	Agua:	138 grs.
Catalizador (7%):	26,1 grs.	Catalizador (7%):	36 grs.
Contenido de humedad del colchón:	12%	Contenido de humedad del colchón:	12%
Número total de tableros :	5	Número total de tableros :	5

## Encolado

Para el encolado de las partículas secas a un 4% de contenido de humedad se utilizó la resina urea formaldehído en la proporción del 8% con respecto al peso seco al horno de las partículas. La resina urea formaldehído presentó un 60% de contenido de sólidos, una viscosidad de 200 centipoises (cps) y un pH de 8,5. El catalizador utilizado fue una solución de sulfato de amonio al 30% de concentración, en una proporción de 7% en función de la resina, como solvente se utilizó el agua y no se utilizó emulsión de parafina como sustancia hidrófoba.

Para realizar esta operación se empleó la encoladora marca Drais (Sección de Tableros Aglomerados del Labonac) por aspersion de la cola urea formaldehído, catalizador y agua a una presión de aire aproximadamente de 2 atmósferas y a un tiempo de encolado entre 8 y 10 minutos.



### **Formación del colchón de partículas**

Después de encolar las partículas se distribuyeron de forma manual y uniforme sobre las placas de aluminio, previamente parafinadas y ligeramente rociadas con agua, utilizando una formaleta de madera.



## **Prensado**

La maquinaria marca Becker Van Huller (Sección de Contrachapados del Labonac) sirvió para efectuar el prensado del colchón bajo las siguientes condiciones:

Presión específica sobre el tablero: 31,14 kg/cm<sup>2</sup>

Presión manométrica de la prensa simple: 150 kg/cm<sup>2</sup>

Temperatura de la prensa: 185-200°C

Tiempo de prensado 5 y 20 minutos para las dos densidades respectivamente.

## **Acondicionamiento**

Una vez salidos los tableros de la prensa, fueron colocados en el cuarto de acondicionamiento con las siguientes características: Temperatura 20°C ± 1° C, humedad relativa 65% ± 2%. El tiempo de permanencia de los tableros en este cuarto fue el necesario para que estos alcanzarán una humedad de 12% aproximadamente.

## **Extracción y evaluación de las muestras de los tableros**

Para la escogencia de las muestras, los tableros se recortaron por los bordes hasta lograr las dimensiones de 500 mm x 500 mm x 19 mm. Luego fueron seccionados en probetas con dimensiones establecidas según las Normas Alemanas DIN, para los ensayos y evaluaciones de las propiedades físicas y mecánicas, las cuales se realizaron en la Sección de Ensayos Físicos y Mecánicos de la Madera del Labonac.

Descripción del Ensayo	Norma DIN	Núm. Prob.
Contenido de Humedad y densidad	52361	10
Resistencia a la Flexión Estática	52362	10
Absorción de Agua y Variación de Espesor	52364	10
Tracción Perpendicular	52365	10

### Cálculos

Los cálculos correspondientes a los ensayos físicos y mecánicos realizados a los tableros y a la evaluación estadística respectiva se efectuaron según requerimientos de la Norma DIN 52360, utilizando para el procesamiento de la información la computadora Pentium III de la Sección de Aglomerados del Labonac.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Coefficiente de esbeltez de las partículas

Cuadro 1. Coeficiente de esbeltez de las partículas de los tableros

Rango de tamaño en ancho (mm)	Proporción en peso (%)	Largo (mm)	Espesor (mm)	E
> 20 mm	19,25	28,090	0,344	81,657
10 - 20 mm	66,67	19,513	0,271	72,004
< 10 mm	14,08	16,792	0,176	95,409
<b>Promedio</b>	<b>100,00</b>	<b>21,465</b>	<b>0,264</b>	<b>83,023</b>

El valor promedio del coeficiente de esbeltez fue de 83,023 encontrándose dentro del rango indicado por varios autores, el cual sugieren un rango de 60 a 120 para la fabricación de tableros de partículas, cuyas propiedades físicas y mecánicas sean aceptables (Medina, 1975; Peredo, 1988, citado por Moreno, 2001).

## PROPIEDADES FÍSICAS

**Cuadro 2. Valores promedios, intervalos de confianza al 95% y coeficientes de variación de las propiedades físicas de los tableros aglomerados de partículas de la especie *Hevea brasiliensis* a dos niveles de densidad.**

Propiedades Físicas					
Propiedad	Densidad teórica (g/cm <sup>3</sup> )	Tablero	Valor promedio de la propiedad	Intervalo de confianza al 95%	Coefficiente de variación (%)
Contenido de Humedad	0,600	1	8,814 %	8,186 ≤ X ≤ 9,437	11,481
		2	9,723 %	9,567 ≤ X ≤ 9,878	2,581
		3	9,241 %	9,097 ≤ X ≤ 9,384	2,491
		4	9,609 %	9,520 ≤ X ≤ 9,697	1,477
		5	9,164 %	9,000 ≤ X ≤ 9,327	2,872
	0,800	1	9,617 %	9,091 ≤ X ≤ 10,142	8,821
		2	10,119 %	9,337 ≤ X ≤ 10,900	12,453
		3	9,549 %	8,758 ≤ X ≤ 10,339	13,353
		4	9,640 %	9,064 ≤ X ≤ 10,215	9,635
		5	9,947 %	9,233 ≤ X ≤ 10,666	11,565
Densidad	0,600	1	0,576 g/cm <sup>3</sup>	0,565 ≤ X ≤ 0,586	2,777
		2	0,574 g/cm <sup>3</sup>	0,559 ≤ X ≤ 0,588	4,006
		3	0,560 g/cm <sup>3</sup>	0,540 ≤ X ≤ 0,579	5,646
		4	0,545 g/cm <sup>3</sup>	0,529 ≤ X ≤ 0,560	4,587
		5	0,556 g/cm <sup>3</sup>	0,535 ≤ X ≤ 0,576	5,755
	0,800	1	0,748 g/cm <sup>3</sup>	0,734 ≤ X ≤ 0,761	2,941
		2	0,757 g/cm <sup>3</sup>	0,739 ≤ X ≤ 0,758	3,830
		3	0,754 g/cm <sup>3</sup>	0,739 ≤ X ≤ 0,768	3,050
		4	0,748 g/cm <sup>3</sup>	0,743 ≤ X ≤ 0,776	3,609
		5	0,760 g/cm <sup>3</sup>	0,731 ≤ X ≤ 0,764	3,552
Absorción Agua 2 horas	0,600	1	56,277 %	52,604 ≤ X ≤ 59,949	10,528
		2	51,114 %	48,259 ≤ X ≤ 53,968	9,011
		3	50,048 %	47,147 ≤ X ≤ 52,948	9,351
		4	55,698 %	52,187 ≤ X ≤ 59,208	10,173
		5	48,302 %	41,005 ≤ X ≤ 55,598	24,372

	0,800	1 2 3 4 5	32,210 % 33,068 % 35,990 % 41,676 % 42,855 %	30,811 ≤ X ≤ 33,608 31,022 ≤ X ≤ 35,113 33,367 ≤ X ≤ 38,619 38,629 ≤ X ≤ 44,722 41,028 ≤ X ≤ 44,681	7,007 9,981 11,789 11,792 6,876
Absorción Agua 24 horas	0,600	1 2 3 4 5	65,768 % 55,552 % 61,054 % 64,912 % 63,412 %	63,258 ≤ X ≤ 68,277 52,915 ≤ X ≤ 58,188 58,172 ≤ X ≤ 63,935 61,756 ≤ X ≤ 68,068 59,132 ≤ X ≤ 67,691	6,156 7,654 7,614 7,844 10,889
	0,800	1 2 3 4 5	47,456 % 46,694 % 48,967 % 56,505 % 51,580 %	45,715 ≤ X ≤ 49,196 44,398 ≤ X ≤ 48,998 46,547 ≤ X ≤ 51,386 53,041 ≤ X ≤ 59,968 49,793 ≤ X ≤ 53,360	5,518 7,963 7,972 9,889 5,570
Variación de Espesor 2 horas	0,600	1 2 3 4 5	8,395 % 6,727 % 7,167 % 6,339 % 8,906 %	7,693 ≤ X ≤ 9,096 6,298 ≤ X ≤ 7,155 6,875 ≤ X ≤ 7,458 5,954 ≤ X ≤ 6,723 11,048 ≤ X ≤ 12,769	13,472 10,287 6,561 9,796 22,902
	0,800	1 2 3 4 5	9,440 % 9,424 % 9,961 % 13,035 % 16,609 %	8,971 ≤ X ≤ 9,908 8,783 ≤ X ≤ 10,064 9,334 ≤ X ≤ 10,587 12,332 ≤ X ≤ 13,737 15,893 ≤ X ≤ 17,324	8,014 10,960 10,141 8,690 6,948
Variación de espesor 24 horas	0,600	1 2 3 4 5	11,237 % 9,786 % 9,933 % 8,587 % 11,909 %	10,343 ≤ X ≤ 12,769 9,115 ≤ X ≤ 10,456 9,426 ≤ X ≤ 10,439 7,987 ≤ X ≤ 9,186 7,641 ≤ X ≤ 10,170	12,831 11,568 8,219 11,254 11,655
	0,800	1 2 3 4 5	14,423 % 14,280 % 14,508 % 13,035 % 14,008 %	13,912 ≤ X ≤ 14,933 13,789 ≤ X ≤ 14,770 13,655 ≤ X ≤ 15,360 12,212 ≤ X ≤ 13,857 13,363 ≤ X ≤ 14,6537	5,712 5,539 9,478 8,690 7,438

## Contenido de humedad

Los promedios de contenido de humedad con sus intervalos de confianza al 95% para los dos niveles de densidad de tableros, a un nivel de resinosidad de 8% se presentan en el Cuadro 2. El contenido de humedad promedio de los tableros para el momento de las pruebas de las propiedades físicas y mecánicas fue de 8,814% a 9,723% para la densidad nominal de 0,600 gr/cm<sup>3</sup> y para la densidad de 0,800 gr/cm<sup>3</sup> el porcentaje de humedad estuvo en el rango de 9,549 % a 10,119%.

## Densidad de los tableros

Los promedios de densidad con sus intervalos de confianza al 95% para los dos niveles de densidad de tableros, a un nivel de resinosidad de 8% se presentan en el Cuadro 2. Los coeficientes de variación se situaron en el rango de 1,477% a 13,353%. Esta variación de la densidad dentro y entre tableros a los diferentes niveles de interacción de las variables estudiadas está dentro de la variación esperada para una sola especie que forma el tablero. Los valores de los coeficientes de variación encontrados para los tableros implican una buena distribución de las partículas en el producto final (Durán, 1981; Garay, 1988 y Moreno, 2001).

## Absorción de agua a 2 y 24 horas de inmersión

Los valores promedios obtenidos de la absorción de agua para 2 y 24 horas, así como sus intervalos de confianza a un nivel de significancia del 5% se presentan en el Cuadro 2. Los resultados promedios para la absorción de agua a 2 horas para los tableros de densidad 0,600 g/cm<sup>3</sup> al 8% de resinosidad fue de 48,302% a 56,277%. Para tableros de densidad 0,800 g/cm<sup>3</sup> al 8% de resinosidad fue de 32,210% a 42,855%.

Los resultados promedios para la absorción de agua en 24 horas para los tableros de densidad 0,600 g/cm<sup>3</sup> al 8% de resinosidad fue de 55,552% a

64,912%. Para tableros de densidad  $0,800 \text{ g/cm}^3$  al 8% de resinosidad fue de 46,694% a 56,505%.

En la Figura 1 se representan los valores obtenidos para la absorción de agua de los tableros a las dos horas de inmersión, se puede observar que los tableros a las dos densidades no cumplen con la Norma COVENIN 847-91 que exige un máximo de 25%.

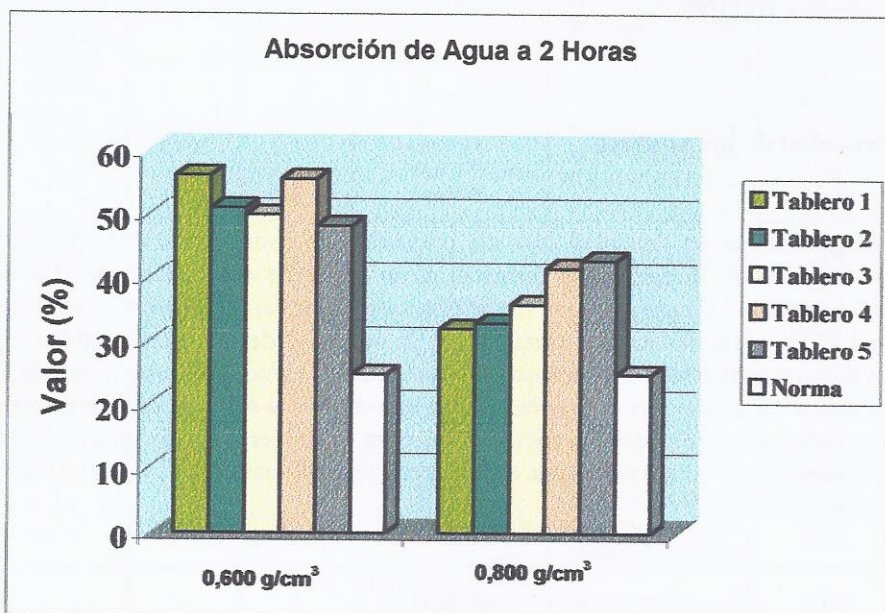


Figura 1. Valores promedio para Absorción de Agua a 2 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad

En la Figura 2, se representan los valores para absorción de agua a 24 horas de inmersión para ambas densidades. Los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  excedieron muy ligeramente por encima del valor máximo permitido de 60% estipulado por la Norma Covenin, a excepción del tablero numero 2 que se sitúa por debajo del valor máximo estipulado. La absorción de agua a 24 horas para los tableros de densidad  $0,800 \text{ g/cm}^3$  se situaron por debajo del valor máximo de 60% permitido por la Norma Covenin

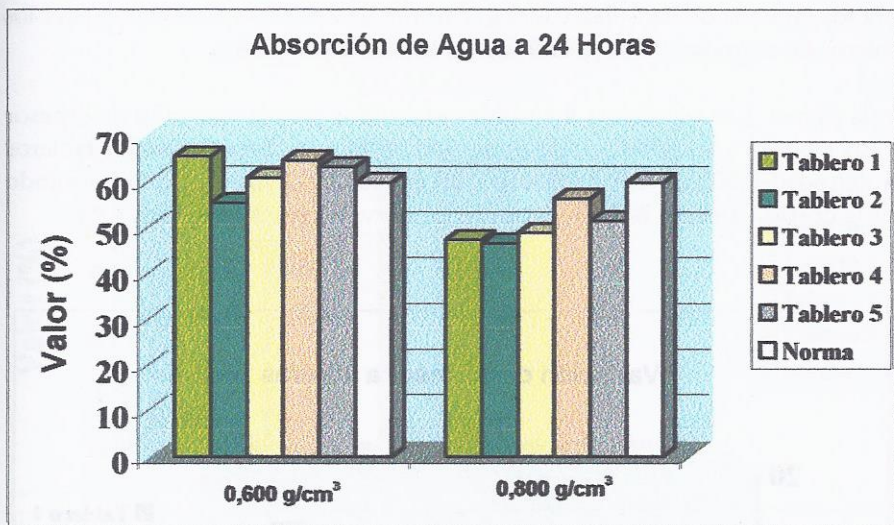


Figura 2. Valores promedios para Absorción de Agua a 24 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad

Estos resultados confirman los obtenidos por Durán, 1981; Garay, 1988 y Moreno, 2001, en que la facilidad de la absorción de agua está en función de la relación de compresibilidad del tablero, eficiencia de resina, facilidad de penetración del fluido (permeabilidad del tablero) por los canales entre partículas y capilares de las mismas. Relaciones de compresibilidad bajas (baja densidad) absorben más agua en comparación con relaciones de alta compresión (alta densidad).

### Variación del espesor a 2 y 24 horas de inmersión en agua

Los valores promedios obtenidos de la variación del espesor para 2 y 24 horas, así como sus intervalos de confianza a un nivel de significancia del 5% y coeficiente de variación se presentan en el Cuadro 2. Los resultados promedios para la variación de espesor a 2 horas de inmersión para los tableros de densidad 0,600 g/cm³ fue de 6,339% a 8,906%, y para los tableros de densidad 0,800 g/cm³ fue de 9,424% a 16,609%.

Los resultados promedios para la variación de espesor a 24 horas de inmersión para los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  fue de 8,578% a 11,909%, y para los tableros de densidad  $0,800 \text{ g/cm}^3$  fue de 13,035% y 14,508%.

En la Figura 3 se representa los valores obtenidos para la variación de espesor de los tableros a las dos horas de inmersión, se puede observar que los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  y  $0,800 \text{ g/cm}^3$  exceden el valor máximo permitido por la norma Covenin 847-91, la cual exige un valor máximo de 6%.

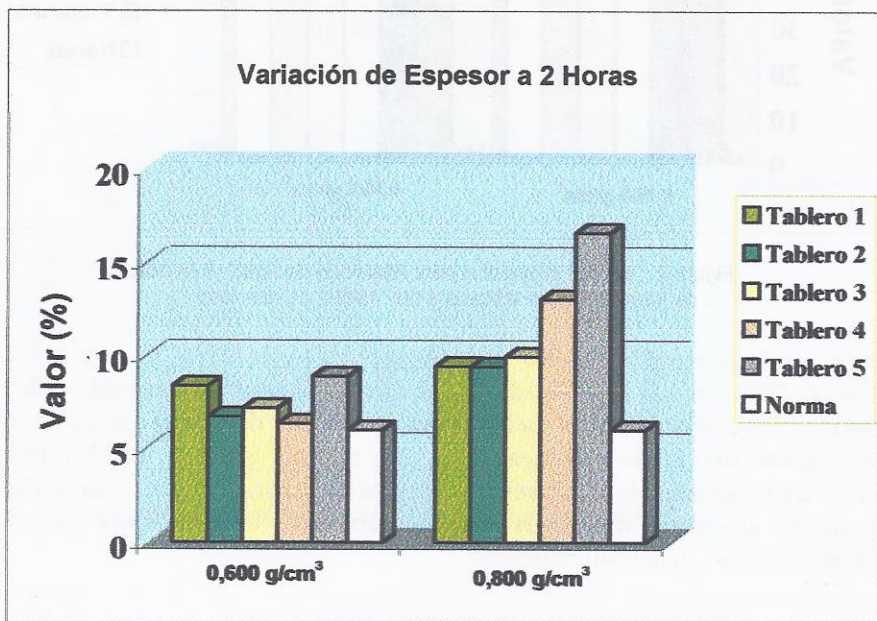


Figura 3. Valores promedios para la Variación de Espesor a 2 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad

En la Figura 4, se representan los valores para la variación de espesor a las 24 horas de inmersión para ambas densidades, los resultados obtenidos para los tableros se situaron por debajo del valor máximo estipulado del 15% por la Norma Covenin, cumpliendo con las estipulaciones de la misma.

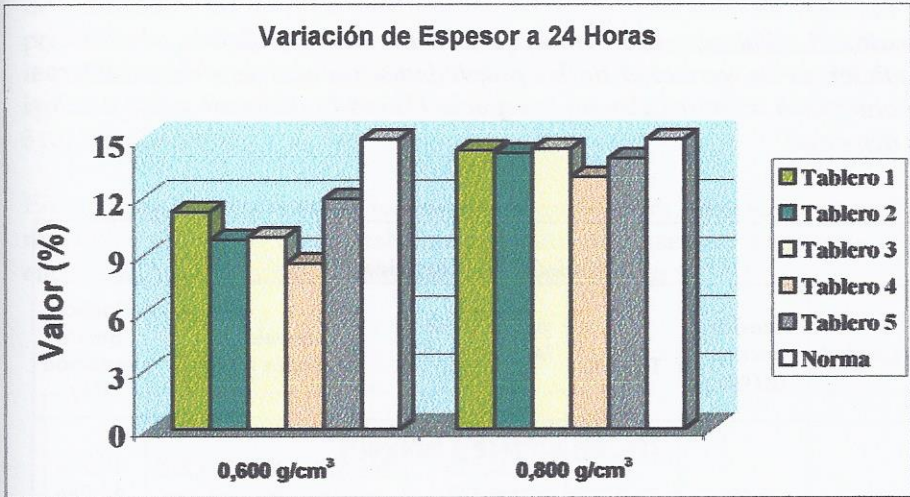


Figura 4. Valores promedios para la Variación de Espesor a 24 horas de inmersión para tableros a dos niveles de densidad

Durán, 1981, plantea que la variación de espesor a las 24 horas de inmersión produce resultados que pueden esperarse en relación a que, a mayor densidad del tablero, mayor debería ser la hinchazón. En este caso, al aumentar el tiempo de inmersión a 24 horas, se permite que los esfuerzos irreversibles de hinchazón sean liberados y el agua tenga el tiempo suficiente para producir la penetración e hinchazón de las zonas y capas de alta densidad, es decir, que el factor tiempo de inmersión va a nivelar el efecto de la densidad del tablero y los resultados son que a mayor densidad del tablero, mayor es la hinchazón del espesor a las 24 horas.

Otras razones probables para los resultados de variación de espesor a bajas densidades pueden originarse en la facilidad de penetración del agua líquida en los capilares y espacios entre partículas para producir la hinchazón de la masa de partículas dentro de un nivel de densidad de tablero. Los tableros de menor densidad deben poseer más canales de penetración, por lo cual, en el tiempo permitido de 2 horas de inmersión, el agua es capaz de penetrar más rápidamente y producir la hinchazón. También el grado de compactación y eficiencia de la resina en los tableros de mayor densidad, actúan como factores para disminuir el grado de higroscopicidad y la facilidad para la absorción del agua.

## PROPIEDADES MECANICAS

**Cuadro 3. Valores promedios, intervalos de confianza al 95% y coeficientes de variación de las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados de partículas de la especie *Hevea brasiliensis* a dos niveles de densidad.**

Propiedades Mecánicas					
Propiedad	Densidad teórica (g/cm <sup>3</sup> )	Tablero	Valor promedio de la propiedad (kg/cm <sup>2</sup> )	Intervalo de confianza al 95%	Coefficiente de variación (%)
Flexión Estática (MOR)	0,600	1	220,525	205,823 ≤ X ≤ 235,226	10,756
		2	208,347	198,275 ≤ X ≤ 18,418	15,286
		3	184,514	168,003 ≤ X ≤ 201,024	14,436
		4	203,459	176,521 ≤ X ≤ 230,396	21,361
		5	195,059	186,020 ≤ X ≤ 204,097	7,475
	0,800	1	245,268	225,509 ≤ X ≤ 265,026	12,997
		2	303,761	293,333 ≤ X ≤ 314,188	5,538
		3	231,200	210,357 ≤ X ≤ 252,042	14,545
		4	230,756	211,907 ≤ X ≤ 249,604	13,178
		5	310,309	279,254 ≤ X ≤ 341,363	16,146
Tracción Perpendicular	0,600	1	5,030	4,518 ≤ X ≤ 5,541	16,391
		2	4,614	3,902 ≤ X ≤ 5,325	24,891
		3	5,597	4,944 ≤ X ≤ 6,249	18,806
		4	3,773	3,521 ≤ X ≤ 4,024	10,736
		5	3,618	3,294 ≤ X ≤ 3,941	14,425
	0,800	1	7,149	6,758 ≤ X ≤ 7,539	8,821
		2	5,626	5,127 ≤ X ≤ 6,124	14,289
		3	6,940	5,424 ≤ X ≤ 8,455	35,230
		4	5,214	4,532 ≤ X ≤ 5,895	21,100
		5	5,935	5,241 ≤ X ≤ 6,628	18,846

Los valores promedios obtenidos de la flexión estática, así como sus intervalos de confianza a un nivel de significancia del 5% y coeficiente de variación se presentan en el Cuadro 3. Los resultados promedios para la flexión estática en los tableros de densidad  $0,600 \text{ kg/cm}^3$  fue de  $184,514 \text{ kg/cm}^2$  a  $220, 525 \text{ kg/cm}^2$ , y para los tableros de densidad  $0,800 \text{ g/cm}^3$  fue de  $230,756 \text{ kg/cm}^2$  a  $310, 309 \text{ kg/cm}^2$ .

En la Figura 5, se representan los valores obtenidos para la flexión estática. Los resultados obtenidos en los tableros para ambas densidades se situaron por encima del valor mínimo exigido por la Norma Covenin 847-91.

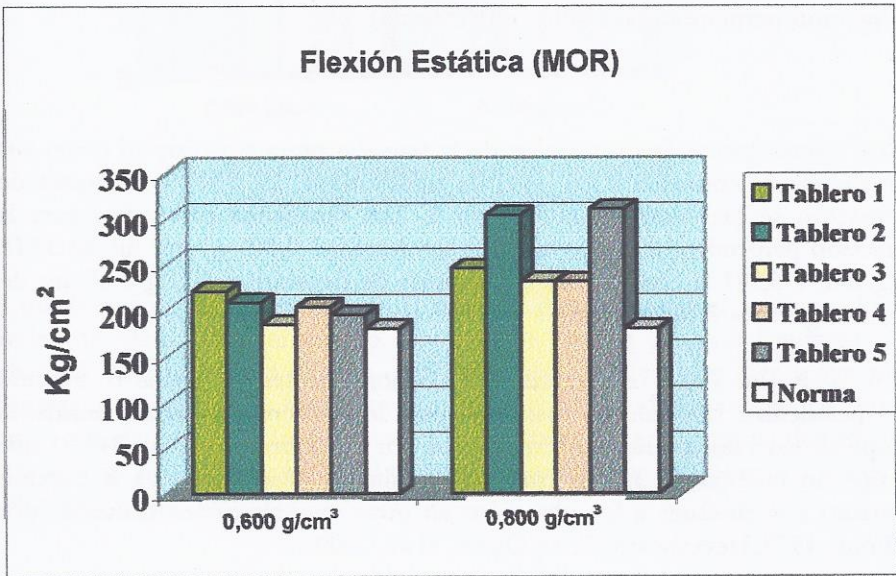


Figura 5. Valores promedios de Flexión Estática (MOR) para tableros a dos niveles de densidad

Los resultados obtenidos para flexión estática son similares a los obtenidos por Wong, et al., 1979; Okino, et al., 2000 y Heveaboard, 2000, para tableros de partículas con resina urea formaldehído, utilizando partículas de la especie *Hevea brasiliensis*.

El aumento del módulo de ruptura a mayor densidad del tablero se debe entre otros factores, a una mejor eficiencia y distribución de la resina, causada por un mejor contacto entre partículas, así como también a una mayor densificación de la superficie. Los tableros de alta densidad poseen mayor cantidad volumétrica de partículas que distribuyen una mayor cantidad de esfuerzos, así como también mayor contacto entre partículas, lo cual da resultado a una mayor relación de compresibilidad, mejor curado y eficiencia de la resina.

### Tracción perpendicular (Adhesión Interna)

Los valores promedios obtenidos de la tracción perpendicular, así como sus intervalos de confianza a un nivel de significancia del 5% y coeficientes de variación se presentan en el Cuadro 3. Los resultados promedios para la tracción perpendicular en los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  fue de  $3,618 \text{ kg/cm}^2$  a  $5,597 \text{ kg/cm}^2$  y para los tableros de densidad  $0,800 \text{ g/cm}^3$  fue de  $5,214 \text{ kg/cm}^2$  a  $7,149 \text{ kg/cm}^2$ .

En la Figura 6 se representan los valores obtenidos para la tracción perpendicular. Los valores obtenidos para los tableros a ambas densidades superan los valores máximos estipulados por la Norma Covenin 847-91 que exige un mínimo de  $3,5 \text{ kg/cm}^2$ . Los resultados obtenidos para la tracción estática son similares a los obtenidos en otras investigaciones realizadas por Wong, 1979; Heveaboard, 2000; Okino, et al., 2000.

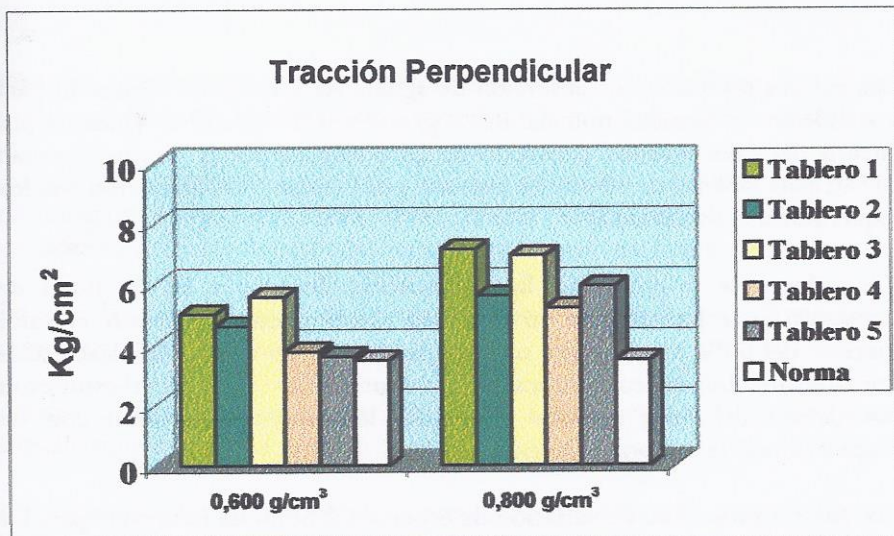


Figura 6. Valores promedios de Tracción Perpendicular para tableros a dos niveles de densidad

Se puede apreciar un aumento de la tracción perpendicular al aumentar los niveles de densidades del tablero. Los valores de esta propiedad aumentan debido al mayor contacto relativo entre partículas, así como también a que se obtiene una densificación mayor en el centro del tablero debido a que hay una mayor cantidad de partículas a prensar, por lo tanto, el gradiente de densidad vertical es menos pronunciado y el tiempo de cierre es mayor que en el caso de tableros de menor densidad.

## CONCLUSIONES

Los valores promedios de absorción de agua a las 2 horas de inmersión para los tableros de densidad nominal  $0,600 \text{ g/cm}^3$  y  $0,800 \text{ g/cm}^3$  se ubicaron por encima del valor máximo permitido de 25% exigido por la Norma Covenin 847-91 para tableros de 19 mm de espesor, por lo tanto, no cumplieron con los requerimientos establecidos.

Los valores de la propiedad física absorción de agua a las 24 horas de inmersión para los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  superaron el valor máximo del 60%, por lo tanto, no cumplieron con las exigencias establecidas por la norma. Los tableros fabricados a la densidad de  $0,800 \text{ g/cm}^3$  estuvieron por debajo del valor máximo permitido, los cuales cumplieron con las estipulaciones de la Norma Covenin 847-91.

Los valores promedios de variación de espesor a 2 horas de inmersión para los tableros de densidad  $0,600 \text{ g/cm}^3$  y  $0,800 \text{ g/cm}^3$ , excedieron el valor máximo de 6% exigido por la Norma Covenin 847-91, por lo tanto no cumplieron con los requerimientos de la misma.

Los valores de variación de espesor a 24 horas de inmersión para tableros de densidad nominal de  $0,600 \text{ g/cm}^3$  y  $0,800 \text{ g/cm}^3$  se situaron por debajo del valor máximo permitido del 15% estipulado por la Norma Covenin 847-91, por lo tanto, cumplieron con las exigencias establecidas por la misma.

Las propiedades mecánicas de flexión estática y tracción perpendicular de los tableros fabricados a densidades de  $0,600 \text{ g/cm}^3$  y  $0,800 \text{ g/cm}^3$  cumplieron con los valores mínimos exigidos de  $180 \text{ kg/cm}^2$  y  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, por la Norma Covenin 847-91.

Los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de los tableros de partículas indican que la madera de la especie *Hevea brasiliensis* puede ser utilizada como materia prima para obtener productos de valor agregados en la industria de paneles aglomerados a base de madera.

Los resultados obtenidos indican que la presencia del látex, característico de esta especie, no tiene influencia negativa sobre las propiedades físicas y mecánicas en los tableros de partículas de *Hevea brasiliensis*.

## RECOMENDACIONES

Si se desean minimizar los cambios dimensionales de los tableros, se sugiere utilizar una sustancia hidrófoba en el mezclado de la resina y de las partículas.

Evaluar el comportamiento de nuevos adhesivos sintéticos del tipo melamínicos y fenólicos para darle mayor resistencia al tablero, ante condiciones adversas de humedad en ambientes semi exteriores y exteriores.

Estudiar la compatibilidad de la especie *Hevea brasiliensis* con aglomerantes inorgánicos como el cemento y yeso.

Estudiar la durabilidad natural e inducida de los tableros de *Hevea brasiliensis* ante el ataque de hongos e insectos.

Incentivar al sector gubernamental y privado, en proyectos de plantaciones en diversas regiones del país para garantizar el desarrollo y abastecimiento de materia prima primeramente del látex para la industria del caucho y segundo, de madera para ser utilizada en la fabricación de tableros aglomerados.

Estimular al sector industrial en invertir en la posibilidad de instalar nuevas industrias para la fabricación de tableros de partículas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. COVENIN 847. 1991. Norma Venezolana para tableros de partículas. Primera revisión.
2. Duran, J. 1981. Utilización de los aclareos de las especies de la plantación de Caparo para tableros aglomerados de partículas. Parte I, Teca. Universidad de Los Andes. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida, Venezuela.
3. Garay, D. 1988. Producción de tableros aglomerados de partículas a partir de mezclas de especies de los Llanos Occidentales. Tesis de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Mérida, Venezuela.
4. <http://www.heveaboard.com.my>
5. Killmann, W. y Hon, Lt. 2000. El caucho, el éxito de un subproducto agrícola. *Unasylya*. 201 (51):66-72.
6. Kollert, W. y Zana, A. 1994. Rubberwood from agricultural plantations: a market analysis for Peninsular Malaysia. *The Planter*. 70:435-452.
7. Medina, A. 1975. Seminario sobre proceso de fabricación de tableros de partículas de madera. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida, Venezuela.
8. Moreno, P. 2001. Efectos de las Sales CCA sobre las propiedades físicas y mecánicas y durabilidad inducida en tableros de partículas de pino caribe. Universidad de Los Andes. Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Programa Tecnología de Productos Forestales.
9. Okino, e. et al. 2000. Utilizacao da madeira de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. Na fabricacao de chapas aglomeradas. *Arvore*. 24 (3): 341-347.
10. Peredo, M. 1988. Fabricación de tableros de partículas para uso exterior. *Bosque*. 9 (1): 35-42.
11. Rahaman, W. 1995. Natural rubber as green commodity: Part 1. *International Digest*. p. 11-13.
12. Raymond, a. 1993. Tapping rubberwood's export market potential. Documento presentado en el Foro Internacional sobre oportunidades de inversión en la industria del caucho. Kuala Lumpur, Malasia, Septiembre 1993. Resumido en *Asian Timber*: 53-55.
13. Salleh, M. 1984. Heveawood-timber of the future. *The Planter*. 60 (702):370-381.
14. Wong, WC y Ong, CL. 1979: The production of particleboard from rubberwood. *Malaysian Forester*. 42 (1): 25-29.