

ELABORACIÓN DE TABLEROS DE PARTICULA FINA A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS Y RESINAS TERMOESTABLES

Tapia Clotario¹, Paredes Cecilia², Simbaña Andrés³, Leao Alcides⁴
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción ^{1 2}

^{1 2} Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

vtapia@espol.edu.ec, cparedes@espol.edu.ec.

³ Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra – PUCESI;

andres_sv@pucei.edu.ec

⁴ Universidad Estadual Paulista; alcides.leao@fca.unesp.br

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue avalar las propiedades de tableros fabricados a partir de residuos lignocelulósicos en mezcla con polímeros termoestables. Se utilizó un diseño experimental factorial a dos niveles, para analizar cuatro variables: Tipo de residuo lignocelulósico (F), tipo de resina (T), porcentajes de resina (%) y densidad del tablero (D). Fueron utilizadas resinas termoestables urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (PF) a dos niveles 4% y 10%, en relación de masa seca, en mezcla con dos de los más abundantes residuos lignocelulósicos del Ecuador, Bagazo de Caña de Azúcar y Cascarilla de Arroz. Fueron producidos tableros de 350 mm x 350 mm x 10 mm con dos densidades a evaluar 0,9 gr/cm³ y 0,7 gr/cm³, para obtener una visión más amplia de la influencia de las variables. Se evaluó la resistencia de los tableros a la tracción perpendicular, resistencia a la flexión estática (módulos de ruptura) y también el hinchamiento en espesor por absorción de agua después de dos horas y 24 horas de inmersión. Se compararon los resultados con la norma ANSI/A 208.1, obteniendo resultados superiores a esta norma en las mejores mezclas 1 y 2 (PF al 10%, con bagazo de caña de azúcar y densidad de 0.9 gr/cm³ y 0.7 gr/cm³). Los porcentajes de absorción de agua fueron superiores a los reportados en paneles comerciales; a pesar de esto, estos valores son compatibles con los tableros de partículas existentes en el mercado. De manera general, los mejores resultados se presentaron en las mezclas a base de bagazo de caña de azúcar y resinas fenol-formaldehído.

PALABRAS CLAVE: Paneles de partículas, urea-formaldehído, fenol-formaldehído, bagazo de caña, cascarilla de arroz

INTRODUCCIÓN

Alrededor del planeta se están sumando esfuerzos para desarrollar productos que sean amigables con el ecosistema; es por esto que organizaciones diversas están preocupadas de mostrar un desempeño ambientalmente correcto; esto es, controlando el impacto de sus actividades productivas desde el inicio de su ciclo hasta el final del mismo, incluyendo en esto la reciclabilidad o degradación de sus productos y la disposición final de sus desperdicios, involucrando el uso de tecnologías ambientalmente sustentables y con los trabajadores involucrados en estos procesos.

En este trabajo intentamos dar una solución a la problemática presente en Ecuador debido a la generación de Bagazo de Caña y Cascarilla de Arroz, derivados de la producción de azúcar y arroz respectivamente. En el periodo comprendido entre 1990 a 2005, la superficie sembrada de caña de azúcar creció un 35% y la producción creció un 66% al pasar de 330.000 TM a 550.000 TM. De manera similar, la producción de arroz aumentó 114% al pasar de 700.000 TM en 1991 a 1`500.000 TM en el año 2005 [1], [2]. Esto ha producido un gran incremento en la generación de cascarilla de arroz dado que representa el 20% en peso de la producción total de arroz y su bajo peso específico de alrededor de 100 Kg/m³, hace que el volumen sea de difícil manejo.

En el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), se han desarrollado varias técnicas para la utilización del excedente de bagazo de caña, siendo la industria azucarera una de las más grandes de este país. Gómez et al describe un procedimiento para la elaboración de estos tableros; la técnica consiste en elaborar un tablero constituido por tres capas con la diferencia de que las

partículas de las capas exteriores son más pequeñas que la interior, además esta última tiene un espesor más grande. El agente inorgánico que se usa como aglutinante depende de la utilización final del tablero; por ejemplo, si es para interiores se utiliza urea-formaldehído, mientras que resinas fenol-formaldehído son usadas cuando la humedad es un factor determinante. También describe la utilización del bagazo de caña en matrices de cemento y yeso teniendo alentadores resultados [3].

Hse y Shupe [4] han estudiado las propiedades de tableros aglomerados a partir de bagazo de caña y cascarilla de arroz utilizando como sistema de resina mezclas diversas de urea-formaldehído con poli-isocianato, obteniendo lo mejores resultados cuando el isocianato es esparcido antes de la aplicación de la resina a base de urea.

En este trabajo intentamos dar una solución a la problemática presente en Ecuador debido a la generación de bagazo de caña y cascarilla de arroz, derivados de la producción de azúcar y arroz respectivamente. El objeto de este trabajo es el evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los tableros producidos a partir de la mezcla de bagazo de caña con resinas urea-formaldehído y fenol-formaldehído y de manera similar cascarilla de arroz con las mismas resinas para establecer una comparación estadística entre las variables y determinar la mejor composición para tableros aglomerados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El bagazo de caña fue recolectado en la provincia de Imbabura (región norte del Ecuador) y se utilizaron alrededor de 25 Kg. del mismo. En lo que respecta a la

cascarilla de arroz, fueron recolectados en la provincia del Guayas alrededor de 40 Kg. en la zona arroceras de Ecuador.

Las resinas fueron suministradas por la empresa Alba Química, Brasil; se emplearon para el desarrollo de este trabajo dos tipos de polímeros termoestables: urea-formaldehído y fenol-formaldehído, teniendo como nombre comercial CASCAMITE PB 5070 y CASCOPHEN HL-2080, respectivamente.

Preparación de las Partículas

En lo que respecta al bagazo de caña de azúcar, primeramente se realizó un proceso de homogenización al hacerlo pasar por un molino tipo Wiley con cuchillas rotativas y malla de orificios de 5 mm. Con este proceso conseguimos uniformidad en la muestra.

Por otro lado, dadas sus características morfológicas y homogeneidad, la cascarilla de arroz no fue molida. Este paso se lo omitió con el fin de analizar el comportamiento de este material sin moler, dada su alta abrasividad, y analizar el comportamiento físico-mecánico de los tableros producidos partiendo de esta premisa.

Luego de esto, tanto la cascarilla de arroz como el bagazo de caña pasaron por procesos de secado, primeramente al ambiente y luego en una estufa de aire recirculante. Este proceso se lo realizó para evitar la producción de burbujas y posible agrietamiento en los tableros debido al cambio de energía en el vapor de agua.

Las resinas termoestables fueron debidamente almacenadas en frío, de acuerdo a recomendaciones del fabricante. La resina UF, CASCAMITE PB 5070, tiene un porcentaje teórico de sólidos de alrededor de 66%, mientras que la resina PF, CASCOPHEN HL-

2080, posee un porcentaje teórico de sólidos de 50%.

PREPARACIÓN DE LOS TABLEROS

Se utilizó un diseño experimental factorial a dos niveles para analizar cuatro variables: Tipo de residuo lignocelulósico, tipo de resina, porcentajes de resina y densidad del tablero. Las resinas termoestables urea-formaldehído (UF) y fenol-formaldehído (PF) se las comparó a dos niveles 4% y 10%, en relación de masa seca, en mezcla con bagazo de caña de azúcar y cascarilla de arroz.

Dadas las características del diseño experimental utilizado se platearon 16 mezclas para los cuáles se calcularon los porcentajes de masa de fibra y porcentajes de resina a utilizar. Para el cálculo de masa de la fibra natural se consideró un porcentaje de humedad de 3% en las fibras y se utilizaron los datos antes mencionados del porcentaje teórico de sólidos de las resinas.

La cantidad de resina UF y PF empleada fue de 4% y 10% de acuerdo a recomendaciones del fabricante. Las partículas de bagazo de caña y cascarilla de arroz fueron pesadas y colocadas en un mezclador de tipo tambor rotatorio de 75 cm. de diámetro y 120 cm. de largo, que giraba a una velocidad constante de 26 rpm. Las resinas en solución de agua destilada fueron esparcidas por medio de dos toberas con la ayuda de aire comprimido accionado por un compresor durante 5 minutos.

La mezcla fibra/resina fue después pesada, para cada una de las repeticiones, y llevada para la sección formadora del colchón. El paso de formación de colchón fue realizado manualmente en un molde de madera con dimensiones de 350 mm x 350 mm, sin fondo, sobre una lámina de aluminio con una capa de estearato de

zinc, para prevenir que las fibras se peguen a la misma durante el prensado. Una vez formado el colchón fue retirada la caja de madera, y sobre el colchón formado fue colocada otra lámina de aluminio con el mismo fin.

El colchón fue prensado en una prensa hidráulica con calentamiento eléctrico, con ajuste independiente de la temperatura de los platos y control analógico de la presión aplicada. En este punto del proceso es preciso recalcar que las variables tiempo de prensaje, presión y temperatura de prensaje fueron fijadas como parte del diseño del experimento. El ciclo de prensaje fue de 10 minutos a 160 °C con una presión de 60 Kg. /cm².

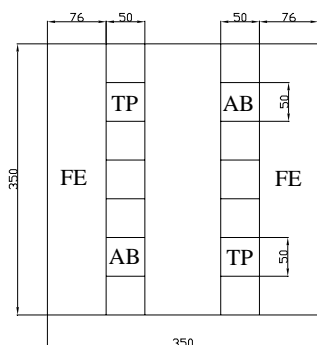


FIGURA 1. ESQUEMA DE CORTE DE LOS CUERPOS DE PRUEBA (TP-Tracción Perpendicular, AB- Absorción de agua, FE- Flexión Estática)

Los tableros obtenidos tenían dimensiones de 350 mm x 350 mm x 10 mm, en un solo ciclo de prensado. Al hacer los cortes de acuerdo a la figura 1 se obtienen muestras suficientes para los análisis estadísticos: dos probetas para los ensayos de Flexión, dos para los ensayos de Tracción Perpendicular a la Superficie y dos para los ensayos de Absorción de Humedad. Dadas las características del diseño experimental empleado, se tenían tres tableros para cada mezcla Fibra/Resina; por lo que obtuvimos suficientes datos para implementar un

buen análisis estadístico de la media. Es decir, si tomamos como ejemplo la mezcla de Fibra/Resina 1 teníamos tres tableros de prueba 1.1, 1.2, 1.3; y por cada uno de estos tableros de prueba dos muestras para ensayo de flexión, dos para ensayo de tracción y dos para ensayo de humedad.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

Una vez que los experimentos terminaron, los cuerpos de prueba fueron ensayados en flexión estática, tracción perpendicular a la superficie y absorción de agua de acuerdo a la norma ASTM D 1037

Flexión estática.-

En lo que respecta a este ensayo analizamos solamente el valor del Módulo de Ruptura (Fig. 2). El máximo valor (10.56 MPa) fue obtenido con el bagazo de caña de azúcar con 10% de PF y densidad 0,9 gr/cm³.

De acuerdo al análisis estadístico, si no existieran las interacciones entre las cuatro variables, podríamos afirmar que el porcentaje de resina es la variable más importante, debido a que cuando utilizamos 10% de resina se obtuvo un valor de 0,3893 MPa más que el valor del módulo cuando se utilizó 4% de resina. Mientras tanto la influencia de la densidad aumenta el módulo en 0.2472 MPa cuando utilizamos 0,9 gr/cm³ en lugar de 0,7 gr/cm³. El efecto entre el bagazo de caña de azúcar y la cascarilla de arroz se vio representado estadísticamente con +0,2882 MPa en la media.

Al incluir el análisis del efecto que inducen las interacciones entre las variables se confirma que las mejores mezclas son mezclas 1 y 5:

- Densidad 0,9 gr/cm³, porcentaje de Resina 10%, bagazo de caña de

azúcar y PF, con un módulo de ruptura de 10,56 MPa.

- Densidad 0,9 gr/cm³, porcentaje de Resina 10%, bagazo de caña de azúcar y UF, con un módulo de ruptura de 9.44 MPa.

Por otro lado el mejor resultado con cascarilla de arroz es la mezcla 9, es decir:

- Densidad 0,9 gr/cm³, porcentaje de Resina PF al 10%, con un módulo de ruptura de 6.16 MPa

Con estos resultados, de acuerdo a la norma ANSI A208.1, estos tres tableros se podrían clasificar dentro de la categoría LD-2, como tableros de baja densidad clase 2.

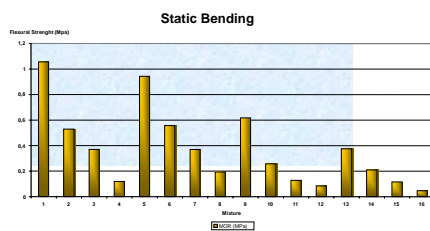


FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE RUPTURA VS. MEZCLA

En la figura 2, se puede notar que el Módulo de Ruptura (MOR) es similar entre las mezclas 1 y 5 independientemente del tipo de resina, y el valor de la mezcla 9 se encuentra con una diferencia significativa a las primeras dos.

Los factores principales y sus principales interacciones se listan en la Tabla 1.

TABLA 1. EFECTOS PRINCIPALES Y SUS INTERACCIONES CON VALOR-ALPHA DE 0.10

Variable	Efecto
Porcentaje de Resina (%)	+0.3893
Densidad (D)	+0.2472

Tipo de Fibra (F)	-0.2882
D * %	+0.1124
F * %	-0.1188
D * F	-0.0882

Es importante mencionar que estos valores se obtuvieron con un valor-alpha (el error de la probabilidad) de 0.1 ya que cuando trabajamos con un valor-alpha 0.05, no podríamos afirmar nada respecto a las variables. De este análisis podemos afirmar que las cuatro variables y sus interacciones son significativas.

Tracción perpendicular a la superficie

En un primer análisis se pone de manifiesto que las interacciones entre tres y cuatro variables no fueron significativas, por lo que no fueron consideradas en el resto del análisis. Analizando las variables se obtuvieron los siguientes valores de efectos y valores-p (p-value).

TABLA 2. EFECTO Y P-VALUE DE LOS FACTORES PRINCIPALES Y SUS INTERACCIONES.

Variable	Efecto	p-value
D	-7.89	0.561
%	32.48	0.051
T	-2.69	0.841
F	-25.71	0.099
D*%	-8.03	0.555
D*T	4.65	0.729
D*F	13.62	0.332
%*T	-0.68	0.959
%*F	-24.60	0.110
T*F	-4.18	0.755

Dados los valores altos del p-value, pudimos definir que ni el tipo de resina (T) ni sus interacciones D*T, %*T y T*F tienen influencia en la resistencia a la tracción perpendicular a la superficie, por lo que fueron excluidos del análisis. Luego reanalizamos sin T y sus interacciones, y obtuvimos los siguientes resultados.

TABLA 3. EFECTO Y P-VALUE DE LOS FACTORES PRINCIPALES Y SUS INTERACCIONES SIN LA INTERACCIÓN DE TIPO DE FIBRA.

Variables	Efecto	p-value
D	-7.89	0.438
%	+32.48	0.009
F	-25.71	0.027
D*%	-8.03	0.431
D*F	13.62	0.195
%*F	-24.60	0.032

Los valores bajos de p-value fueron obtenidos para el porcentaje de resina (%), tipo de fibra (F) y la interacción de ambas variables, por lo tanto podemos afirmar que estos factores influyen el resultado de este ensayo.

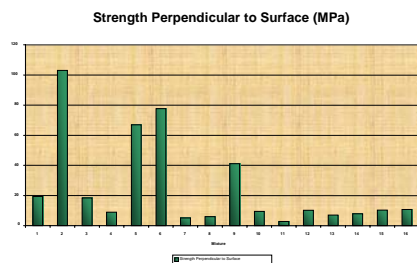


FIGURA 3. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PERPENDICULAR VS. MEZCLA

De acuerdo con estos resultados y tomando en cuenta únicamente a los efectos principales, el mejor valor de resistencia a la tracción perpendicular viene dada por la utilización de 10% de resina en mezcla con bagazo de caña de azúcar. El mejor resultado se presentó en la mezcla 2; es decir bagazo de caña de azúcar con resina PF al 10% y densidad 0.7 gr/cm^3 , con un valor de 103 KPa, este valor esta acorde con la norma ANSI A208.1 para los tableros LD-2.

TABLA 4. MEJORES RESULTADOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE.

Densidad (D)	Porcentaje de Resina (%)	Tipo de Resina (T)	Tipo de Fibra	Resistencia a la tracción perpendicular a la

			(F)	superficie (KPa)
-	+	-	-	103.09
+	+	-	-	19.39
-	+	+	-	77.67
+	+	+	-	66.86

Absorción de Humedad

Este factor esta directamente relacionado a la cantidad de agua que podría absorber el tablero bajo condiciones extremas. Cuanto mayor agua absorba mayor será la variación en espesor. Se estableció un patrón luego de analizar los resultados, los porcentajes altos de resina, 10%, presentaron mejor comportamiento que aquellos con porcentaje bajo, 4%; como se observa en la figura.

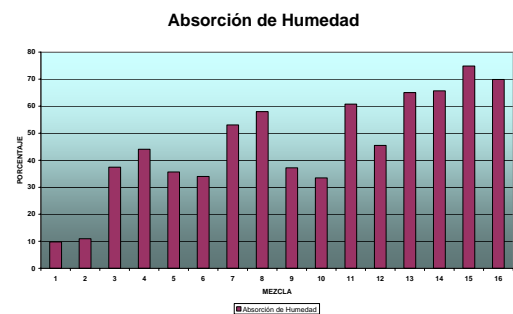


FIGURA 4. COMPORTAMIENTO DE ABSORCIÓN DE HUMEDAD VS. MEZCLA

Los resultados estadísticos nos indican que la densidad no es una variable significativa con respecto a la absorción de agua ya que su valor de p-value y la de sus interacciones son realmente altos (0.48); por lo que excluimos del análisis la densidad. Al realizar el diseño sin la variable densidad, nos damos cuenta que todas las otras tres variables (%Resina, tipo de fibra y tipo de resina) presentaron influencia estadística sobre el resultado de absorción.

De acuerdo a este segundo análisis, las mejores mezclas estarían dadas por las aquellas que incluyan resina 10 % PF y bagazo de caña de azúcar en su composición.

Las mezclas que mayor resistencia a la absorción de agua presentaron fueron las mezclas 1 y 2. Nótese que los resultados son realmente próximos independientemente de la variable densidad.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y el análisis estadístico, podemos concluir:

1. El tipo de resina no influye en la resistencia a la tracción y su influencia en el módulo de ruptura es dudosa.
2. El porcentaje de resina tiene una influencia indudable tanto en el módulo de ruptura como en la resistencia a la tracción perpendicular a la superficie; siendo el único limitante los costos que implicaría el adicionamiento de resina a niveles superiores a 10%.
3. También notamos que los mejores resultados de resistencia a la absorción de agua se presentaron siempre en las mezclas que incluían resina PF en su composición, lo cual concuerda con la bibliografía disponible.
4. El bagazo de caña de azúcar presenta mejor resistencia a la absorción de agua que la cascarilla en las pruebas de humedad.
5. La densidad del tablero no presenta influencia sobre la resistencia a absorción de agua de acuerdo a los datos estadísticos.
6. De acuerdo a los resultados encontrados los experimentos
5. and Forestry Residues, 2001

desarrollados en este proyecto encajan dentro de la norma ANSI A208.1, como tableros de baja densidad clase 2.

7. Al cumplir las especificaciones mínimas de los tableros LD-2, se ha demostrado la factibilidad técnica de la utilización de los residuos lignocelulósicos estudiados.
8. Como conclusión final puede observarse que para las tres variables de respuesta (Módulo de Ruptura, Resistencia a la Tracción Perpendicular y Absorción de Agua), los mejores resultados se obtienen con porcentaje de resina fenol-formaldehído (PF) al 10%, con bagazo de caña de azúcar y densidad de 0.9 gr/cm³.

REFERENCIAS

1. Ministerios de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Superficie sembrada de caña de azúcar y producción de azúcar en el Ecuador. www.sica.gov.ec
2. Instituto nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador INEC. Superficie sembrada de arroz y producción de arroz en el Ecuador www.sica.gov.ec
3. A. Gomez, L. Gálvez, O. De la Osa. Sugar Cane Bagasse. Utilization for Production of Composites. The State of the Art in Cuba, ICIDCA, 1997.
4. Hse, Shupe; Mechanical and physical properties from bagasse and rice husks. Symposium on Utilization of Agricultural