

Evaluación de Propiedades Físico-Mecánicas de Tableros Aglomerados Usando Diferentes Formulaciones Adhesivas de Proteína de Soya

Carolina LONDOÑO, Manuel A. DOMÍNGUEZ, Andrés F. CARDONA, Catalina ÁLVAREZ

*Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1#70-01, B11, Medellín, Colombia.
manuelalejandro.domingues@alfa.upb.edu.co*

Resumen: En este artículo se evalúan las propiedades físicas y mecánicas de tableros de partículas empleando como adhesivo una dispersión de proteína de soya, ayudada por un entrecruzante Poliamino Amida Epiclorhidrina (PAAE) y adicionando un agente modificante como la urea y el alcohol furfurílico. Los resultados mostraron buena adhesión, además de un incremento en propiedades como la tracción con el uso de la proteína y el entrecruzante. La adición del modificante mostró buenos resultados en cuanto mejora la apariencia física del tablero. *Copyright © UPB 2013*

Palabras clave: Tableros de partículas, proteína de soya, entrecruzamiento, PAAE.

Abstract: In this paper, physic and mechanical properties of particleboard are evaluated. Soy protein dispersion as adhesive, polyamino amide epichlorohydrin crosslinking (PAAE), and a modifying agent such as urea and furfuryl alcohol were added. The results showed good adhesion, as well as an increase in tensile properties with the use of the protein and crosslinking. The addition of the modifier showed good results in improving the physical appearance of the materials.

Keywords: Particleboard, soy protein, crosslinking, PAAE.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente los tableros de partículas son de amplio uso en la elaboración de estanterías, muebles, armarios, entre otros productos para interiores. Éstos son producidos generalmente a partir partículas de madera y de resinas a base de Urea-Formaldehído, las cuales a pesar de brindarle al tablero una buena funcionalidad, están siendo cada vez menos utilizadas en el sector, debido a que provienen de fuentes no renovables como el petróleo, y a que pueden generar emisiones altas de formaldehído (Prasittisopin, 2009), que es un compuesto contaminante y cancerígeno (Lui & Li, 2007). Estas razones han sido un factor de gran influencia en la investigación y desarrollo de diversas alternativas en cuanto a la elaboración de adhesivos naturales, con los cuales se puedan obtener propiedades físicas y mecánicas que igualen o mejoren las obtenidas con las resinas de formaldehído. Es allí donde fuentes renovables como las proteínas, taninos, entre otros compuestos, entran a jugar un papel importante, ya que presentan un impacto ambiental mínimo.

Las proteínas han sido usadas por siglos para la preparación de adhesivos. Sin embargo, desde que los adhesivos a base de petróleo empezaron a dominar el mercado con costos favorables y desempeño satisfactorio (Jang *et al.*, 2011; Frihart *et al.*, 2010), éstas fueron dejadas de lado. La proteína de soya, específicamente, es abundante, renovable, de bajo costo y fácil acceso (Jang, *et al.*, 2011), lo que la hace preferible sobre otro tipo de proteínas como el Gluten de trigo, también empleada para la elaboración de

adhesivos. No obstante, es importante resaltar que el uso de adhesivos a base de formaldehído permite obtener materiales aglomerados con características superiores en fuerza y resistencia al agua, en comparación con los adhesivos a base de proteínas. Por esto, uno de los retos que presentan los adhesivos a base de compuestos de origen orgánico, es alcanzar o superar las propiedades otorgadas por las resinas comerciales (Prasittisopin, 2009).

Las propiedades adhesivas de la soya dependen del tipo de harina empleada y de la formulación del adhesivo, para que la proteína una vez desnaturalizada sea utilizada como adhesivo debe ser dispersada en un solvente que tenga el pH alejado de su punto isoeléctrico, evitando así la precipitación de la proteína (Cardona, 2013). Para el desarrollo del presente trabajo, el agente dispersante empleado fue una solución de hidróxido de sodio, ya que se obtienen mejores propiedades reológicas en comparación a dispersiones preparadas en un medio ácido como el cítrico o en agua (Wool & Sun, 2005). Es también necesario incluir en la formulación del tablero, el uso de un agente entrecruzante, esto con el fin de mejorar la interacción entre la madera y el adhesivo, obteniendo así mejores propiedades mecánicas. Por otro lado, la adición del modificante, se hace con el objetivo de incrementar la resistencia al agua, creando enlaces hidrofóbicos que disminuyen la absorción de humedad y evitan el hinchamiento del tablero.

Por lo anterior, en el presente trabajo se busca evaluar la influencia del entrecruzante y el modificante, además de determinar el papel que juega la proteína de soya en las propiedades mecánicas

(resistencia a la tracción – IB) y físicas (hinchamiento en el espesor – TS y absorción de humedad – WA) de tableros aglomerados de partículas de pino.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para la elaboración de las dispersiones se utilizó harina de soya – SPI (90 % w/w), un agente antiespumante siliconado, una solución de NaOH 0.1 M, entrecruzante Poliamino Amida Epiclorhidrina – PAAE al 13 % (w/w), alcohol furfúrico (pureza industrial) y una solución de urea al 30 % (w/w). Se empleó viruta de madera de pino en dos presentaciones: una muy fina (capa externa – 55 %) y una menos fina (capa interna – 45 %), con un porcentaje de humedad aproximadamente de 8 %. Todos los materiales fueron suministrados por la empresa INTERQUIM S.A.

2.2. Métodos

Preparación de proteína. La proteína de soya (SPI) se adicionó poco a poco con agitación constante a una solución acuosa de NaOH 0.1 M, hasta obtener una solución viscosa al 12 % (w/v) de sólidos. Durante el proceso se agregó un agente antiespumante con el fin de eliminar las burbujas presentes en la preparación y disminuir la tensión superficial de la solución.

Impregnación de las partículas de madera. Previo a la elaboración de los tableros, la capa externa se dividió en dos partes iguales, las cuales constituyen la parte superior e inferior del material. Posteriormente, cada capa fue impregnada con la dispersión de soya (SPI). Puesto que el sistema queda con un contenido alto de agua, fue necesario retirarla mediante secado en un horno precalentado a 105-110 °C hasta alcanzar un 12 % de humedad. Luego del secado se adiciona el entrecruzante (PAAE) (Cardona, 2013) y el modificante buscando una buena impregnación con el material.

Conformación y prensado. Para la elaboración de los tableros se incorporó la capa externa inferior en un molde metálico de 30 x30 x 1cm y se distribuyó de manera uniforme. Posteriormente, y conservando la uniformidad en la distribución, se adicionan la capa interna y la capa externa superior. El conjunto fue llevado a una prensa hidráulica, precalentada a 185 °C hasta alcanzar una presión máxima de 7000 Lbf. La compresión se llevó a cabo disminuyendo 1000 Lbf cada 30 s. Una vez alcanzada una presión cercana a 1000 Lb, se disminuye la presión a razón de 500 Lb cada 30 s. Luego de 3 min de prensado se extrajo el molde y se dejó enfriar a temperatura ambiente. La densidad objetivo fue de 650 kg/m³. Los tableros elaborados fueron cortados en probetas de 5x5 cm.

Tabla 1. Variables para la elaboración del tablero

Prueba	Composición	Abreviación
1	M + E + D	MED
2	M + D	MD
3	M + E + D + U	MEDU
4	M + E + D + A	MEDA
5	M + E	ME

M: Madera, E: Entrecruzante, D: Dispersión, U: Solución de urea (30%), A: Alcohol furfúrico

Pruebas de tracción, absorción de humedad e hinchamiento. Las propiedades físicas de los tableros se determinaron mediante pruebas de absorción de agua (WA) e hinchamiento en el espesor (TS) basados en la norma EN 317.

Las probetas se sumergieron por 24 h en agua fría y cada 2, 8 y 24 h se registró el cambio en las dimensiones y el peso de las mismas. Las propiedades mecánicas se evaluaron mediante pruebas de tracción perpendicular (IB) basados en la norma EN 319, utilizando una máquina universal de ensayos marca Thwing Albert referencia QC 3A. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

2.3. Variables en la elaboración del tablero

Las variables analizadas en cada tablero fueron el uso de un modificante (urea y alcohol furfúrico) y la adición tanto de proteína de soya como de entrecruzante (ver Tabla 1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante mencionar que las probetas de la prueba 5 (madera y entrecruzante) se deshicieron durante el corte de las mismas, por lo que no se pudo evaluar sus propiedades; lo anterior demuestra un efecto adhesivo pobre. Si bien el PAAE es un polímero que puede ser empleado para la adhesión entre sustancias, en la proporción empleada no se observó un efecto considerable con la matriz de madera. (Wool y Sun 2005)

Por otro lado, la interacción PAAE-proteína, según muestran varios estudios, es importante debido a la interacción del entrecruzante con los grupos activos de la proteína, formando complejos que permiten mejorar la adhesión del tablero (Wool & Sun, 2005).

3.1. Hinchamiento en el espesor (TS) y absorción de agua (WA)

Las pruebas de hinchamiento en el espesor (TS) y absorción de agua (WA) se realizaron de acuerdo a la norma EN 317. Las dimensiones y la masa del tablero se tomaron luego de 2, 8 y 24 h de inmersión de las probetas. En la Figura 1 se muestran las probetas luego de ser sometidas a la prueba después de 24 h.

En las Figuras 2 y 3 se presentan los valores y la desviación estándar de las pruebas de hinchamiento en el espesor (TS) y de absorción de agua (WA), obtenidos para cada prueba.



Figura 1. Probetas luego de 24 h de inmersión en agua fría

Los resultados obtenidos para el hinchamiento en el espesor muestran un buen comportamiento para los tableros MEDU y MED, ya que están por debajo del 20% de hinchamiento para cada tiempo analizado, y presentan una variabilidad menor entre los datos, comparados con las pruebas MD, como lo evidencia la desviación estándar. Además, se observa que el máximo hinchamiento se alcanza a las 2 horas de inmersión, ya que después de este tiempo, las dimensiones permanecen constantes.

En lo que respecta a los tableros elaborados sólo con dispersión de proteína (MD), se presenta el valor máximo (~ 30%) alcanzado luego de 24 h de inmersión, lo que comparado con los tableros con

contenido de entrecruzante y modificante es aproximadamente un 10% superior. Además, para estos tableros se presentó menor variación entre los datos en los tiempos de prueba testeados.

Cómo se observa en la Figura 3, la prueba que presenta una mayor absorción de agua es MD, seguida por las pruebas MEDU y MEDA. La prueba con menor porcentaje de absorción de agua correspondió a la MED, siendo éstas tres últimas muy parejas en los resultados arrojados. Cabe resaltar que en la modificación de la formulación del tablero, la adición del entrecruzante ayuda a incrementar la resistencia al agua, para nuestro caso, la poli-amino-amido-epiclorhidrina (PAAE) que es un entrecruzante que posee un grupo azetidinio reactivo, el cual puede formar enlaces con los grupos amino y carboxílicos presentes en las proteínas, disminuyendo el número de grupos activos disponibles para interactuar con el agua (Gui *et al.*, 2013).

El hinchamiento y la absorción, son dos variables que van ligadas, puesto que de acuerdo a los componentes del tablero, a mayor humedad, puede presentarse un incremento en las dimensiones del tablero.

Hoy en día existen compañías que están produciendo Epiclorhidrina a partir de la glicerina, que es un subproducto del proceso productivo del biodiesel, lo cual hace a este tipo de resinas más atractivas desde el punto de vista ambiental y de sostenibilidad.

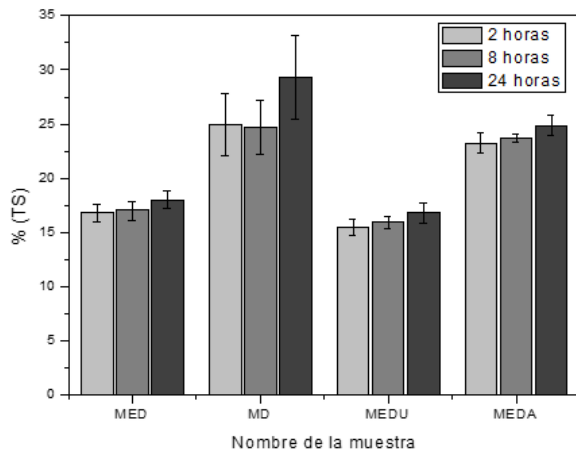


Figura 2. Hinchamiento en el espesor (TS)

La adición de urea y alcohol furfurílico como modificantes, se hace con el fin de incrementar las propiedades de los materiales desarrollados, además de combatir uno de los principales problemas que se presenta en los tableros elaborados con compuestos orgánicos: la degradabilidad biológica.

Se ha comprobado que la adición de urea dentro de la preparación de la proteína puede contribuir a mejorar la viscosidad de la solución, además de mejorar la absorción de agua hasta en un 40% (Mo & Sun, 2001). La urea puede desplegar la proteína hasta cierto grado, haciéndola más enredada y entrecruzada en el proceso de

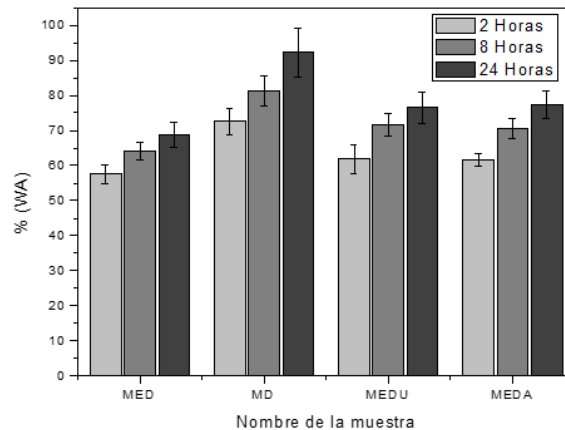


Figura 3. Absorción de agua (WA)

moldeo térmico, comparado con la proteína plastificada con glicerol, por ejemplo (Wool & Sun, 2005).

3.2. Tracción (IB)

Las pruebas de tracción o esfuerzo perpendicular (IB), se realizaron en una máquina universal Thwing Albert referencia QC 3A. En la realización de la prueba, es importante que la ruptura de la probeta se dé por la mitad, como se muestra en la Figura 4, lo que garantiza que hubo una buena impregnación de



Figura 4. Ruptura de la probeta

Los materiales en las etapas previas del proceso, además que los resultados obtenidos sean confiables.

Los resultados obtenidos para la tracción de los tableros se muestran a continuación en la Figura 5. Como se observa, el tablero con mayor valor de tracción es la prueba MED, con un valor promedio de 11 kgf/cm² seguido de la prueba MEDA, la cual obtuvo un valor promedio de tracción de 10,5 kgf/cm². De acuerdo a los estándares comerciales (de empresas como Tablemac), estas dos muestras cumplen con los requisitos de calidad exigidos en Colombia para tableros de partículas. Para el caso de la prueba MEDU, se obtuvo un valor promedio de 6 kgf/cm² y finalmente, la prueba con menor valor en la tracción fue la MD, con sólo dispersión de proteína, lo que muestra una fuerza de unión pobre

entre la dispersión y la madera comparado con las pruebas con contenido de entrecruzante y Alcohol furfurílico.

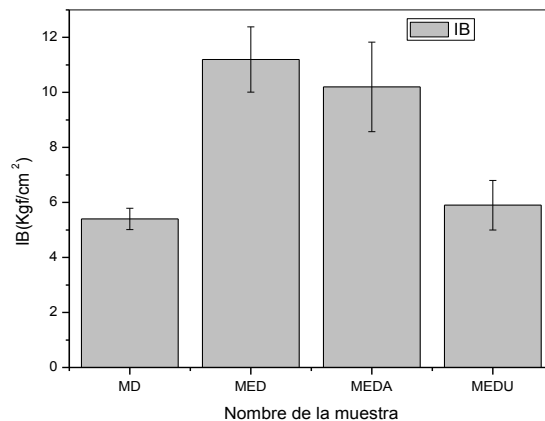


Figura 5. Prueba de reacción (IB)

Es importante tener en cuenta el tipo de interacción que se da entre la proteína y el entrecruzante, de manera que permita analizar su influencia en la tracción del tablero. Inicialmente, entre la madera y la proteína se da la formación de un enlace químico que ocurre en la interface entre el adhesivo y el sustrato, ya que la proteína posee grupos carboxilo e hidroxilo que interactúan fácilmente con las fibras de celulosa. Además de la adhesión química, existe una

adhesión mecánica, representada por el entrecruzamiento, la penetración y atracción con las fibras. Estos son factores de vital importancia en la interacción con el sustrato.

Es importante mencionar la influencia de las variaciones de pH, ya que las propiedades adhesivas óptimas para la proteína de soya se obtienen en un pH cercano al punto isoelectrico de ésta, el cual se encuentra entre 3.6 y 5.5. Según lo reportado por la literatura, el mayor valor registrado para la tracción del tablero con PAAE y proteína de soya se encuentra en un valor de pH alrededor de 5.5. La importancia de éste parámetro radica en la naturaleza de la proteína, su contenido de aminoácidos y su estructura primaria. Los cambios de pH afectan la distribución de cargas que se da en la proteína y con ello la posibilidad de interacción con otros compuestos. En el punto isoelectrico, la proteína puede formar un complejo iónico con el PAAE, lo que le permite mejorar sus propiedades adhesivas y con ello su IB y resistencia al agua (Wool & Sun, 2005).

El alcohol furfurílico es un compuesto orgánico derivado del Furfural, el cual mediante tratamiento con ácidos, puede ser empleado para la polimerización de resinas. Esto le da un valor agregado como modificante dentro de la matriz de adhesivo con entrecruzante. Bajo condiciones ácidas, el alcohol furfurílico forma cadenas abiertas de formaldehído, lo que le permite su reacción con otros compuestos. Varios estudios han reportado que los cambios en las propiedades físicas del alcohol furfurílico bajo una prolongada exposición al aire, altas temperaturas (100-260°C), agentes ácidos o la combinación de éstos factores, conducen a

convertir este alcohol en una resina insoluble en agua que forma un polímero fuerte (Conley & Metil, 1963). En éste orden de ideas, la adición de éste compuesto en el tablero, ayuda al curado del sistema, haciéndolo más resistente mediante los enlaces que forma. Nuevamente es importante tener en cuenta que en las primeras fases de polimerización ésta depende del pH del sistema.

3.3. Apariencia física del tablero

Esta es una variable de tipo apreciativo en lo que respecta al tablero obtenido como producto final. La mejoría en la apariencia e integridad del tablero fue un factor diferenciador para los tableros realizados con alcohol furfurílico y con urea, puesto que ofrecen un aspecto con menor tendencia a desintegrarse y más liso.

De igual forma, el color final del tablero se ve afectado por la adición del modificante, principalmente el alcohol furfurílico, debido a la oxidación de éste compuesto, que en contacto con el aire cambia de color y éste se adhiere al tablero con la implementación del alcohol en el conjunto (Conley & Metil, 1963).

4. CONCLUSIONES

La adición del entrecruzante es una de las principales variables a evaluar en la composición del tablero.

El PAAE se desempeñó como un buen agente regulador de la absorción de la humedad del tablero, además de mostrar buenos valores en la tracción.

La adición de urea y alcohol furfúrico ayudan de manera significativa a mejorar las propiedades del tablero, sea para disminuir la interacción del sistema con el agua o incrementar sus propiedades mecánicas.

AGRADECIMIENTO

Los investigadores agradecen a la empresa Interquim S.A por proveer el espacio, reactivos e implementos para la elaboración de las pruebas.

REFERENCIAS

Cardona, A. F. (2013). Desarrollo de un sistema adhesivo proteínico para la fabricación de tableros aglomerados de densidad media; *Maestría en materiales, Universidad Pontificia Bolivariana*, 99 p.

Conley, R., & Metil, I. (1963). An investigation of the structure of Fururil Alcohol Polycondensates with Infrared Spectroscopy. *Journal of applied polymer science*, **7**, 37-52.

Frihart, C., Birkeland, M., Allen, A., & Wescott, J. (2010). Soy adhesives that can form durable bonds for plywood laminated wood flooring, and particleboard. *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe*, 1-12.

Gui, C., Wang, G., Wu, D., Zhu, J., & Liu, X (2013). Synthesis of a bio-based polyamidoamine-epichlorohydrin resin and its application for soy-based adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **44**, 237-242.

Jang, Y., Huang, J., & Li, K. C. (2011). A new formaldehyde-free wood adhesive from renewable materials. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **31**, 754-759.

Khosravi, S., Khabbaz, F., Nordqvist, P., & Johansson, M. (2011). Protein-based adhesives for particleboards. *Industrial Crops and Products*, **32**, 1-9.

Lui, Y., & Li, K. C. (2007). Development and characterization of adhesives from soy protein for bonding wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, **27**, 59-67.

Mo, X., Sun, X. S. (2001). Thermal and Mechanical Properties of Plastics Molded from Urea Modified Soy Protein Isolates. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **78**, 867-872.

Prasittisopin, L. (2009). A new method of Making Particleboard with a Formaldehyde-free Soy-based Adhesive. *Master of material Science, Obregon University*, 57 p.

Wool, R., Sun, X. S. (2005). *Bio-based polymers and composites*, Elsevier p. 319-367.

AUTORES



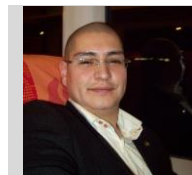
Carolina LONDOÑO ZULUAGA, nacida en Medellín, Colombia; Estudiante de Ingeniería Química (UPB, postulante a grado en Diciembre de 2014).



Manuel Alejandro DOMÍNGUEZ ORTIZ, nacido en Medellín, Colombia; Estudiante de Ingeniería Química (UPB, postulante a grado en Diciembre de 2014).



Catalina ÁLVAREZ LÓPEZ, nacida en Medellín, Colombia; Ingeniería Agroindustrial, PhD. Docente-Investigador. Perteneciente a los grupos Grupo de Investigación Sobre Nuevos Materiales y Grupo de investigaciones Agroindustriales.



Andrés Felipe CARDONA ARANGO, nacido en Medellín, Colombia; Ingeniero Químico. Estudiante de maestría (UPB). Actualmente trabaja en Sumicol (S.A).