

ESTUDIO DE LA HUMECTABILIDAD Y EL EFECTO DE DOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES EN LA ADHESIÓN ENTRE UN MATERIAL COMPUESTO FIBRA DE CORTEZA/HDPE Y MADERA SÓLIDA DE *Eucalyptus nitens*

Muñoz, Freddy^{2,3}; Ballerini, Aldo⁴ y Gacitúa, William³

RESUMEN

La industria forestal y maderera son actividades importantes en la economía actual de Chile, en particular la industrialización del *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) es una alternativa que se proyecta en años recientes debido a sus buenas características, como resistencia a climas fríos y alta tasa de crecimiento anual que la han convertido en una especie apta para la reforestación, principalmente como materia prima pulparable.

Productores e industriales de esta especie quieren dar atención, no solo a la elaboración de pulpa, sino también, al desarrollo de un modelo silvícola que permita producir trozas de calidad para obtener madera sólida y productos de mayor valor agregado. Para la utilización industrial de esta especie se requiere un proceso inicial de descortezado. Generalmente, por la falta o poca información sobre las características de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o es dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal. Sobre este escenario, esta propuesta va orientada a diseñar un nuevo producto de ingeniería utilizando como materia prima la fibra de corteza y madera sólida procedente de una plantación con raleo ubicada en la región del Bio Bio.

El objetivo de esta investigación es estudiar la humectabilidad y el efecto de dos tratamientos superficiales sobre el material compuesto de fibra de corteza/HDPE (polietileno de alta densidad) para mejorar la adhesión entre este y madera sólida de *E. nitens*. Para conformar un material híbrido como elemento constructivo.

Los tratamientos superficiales de flameado y químico aumentaron la resistencia a la cizalladura por tracción respecto del material control, para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%. Ambos tratamientos superficiales también disminuyeron el porcentaje de falla por adhesivo ya que por procesos de oxidación en la superficie de contacto del material compuesto (C2 y C4) aumentó la humectabilidad, disminuyó el ángulo de contacto (Θ), incrementado la adhesión entre sustratos respecto de la muestra control.

Estos resultados prometedores en términos de: la humectabilidad, tratamientos superficiales y propiedades mecánicas del material híbrido permiten, proponer el uso de un nuevo material como elemento constructivo alternativo en estructuras de puertas y ventanas con aplicación simultánea en ambiente interior y exterior; combinando las propiedades de ambos materiales por una parte, estética, trabajabilidad, y disponibilidad de la madera, y por otra características del compuesto termoplástico reforzado con fibra de corteza tales como, estabilidad dimensional, resistencia a la humedad y densidad, entre otras.

Palabras clave: *Eucalyptus nitens*, corteza, fibra, HDPE, material compuesto, tratamientos superficiales

² Profesor adjunto, M. Sc. Escuela de Ingeniería Forestal. Tecnológico de Costa Rica, Cartago-COSTA RICA.

³ Dr. (c). Programa doctorado en Ciencias e Industrias de la Madera. Facultad de Ingeniería. Depto. Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio Bio, Concepción-Chile fmuozac@alumnos.ubiobio.cl

⁴ Profesor asociado, Ph. D. Facultad de Ingeniería. Depto. Ingeniería en Maderas. Universidad del Bio Bio, Concepción-Chile.

SUMMARY

The forest and timber industry are important activities in the current Chilean economy, particularly the *Eucalyptus nitens* industrialization is an alternative that is projected in recent years, due to its good characteristics, such as resistance to cold climates and high annual growth rate, the species is nowadays a suitable one for afforestation programs, mainly to pulpwood production.

Moreover, producers and manufactures of the species are changing their attention, not only to the production of pulpwood, but also to develop forestry model to produce quality logs for solid wood and higher value-added products. The industrial use of the species requires an initial debarking process. Because of the lack or short information about the features of this product the bark is often used for energy or leaved in the forest after the harvest. Under this scenario, this proposal is aimed to design a new engineered product using bark fibers as raw material and solid wood from a thinned plantation located at the Bio Bio region.

The objective is the study of the wetting process effect and two surface treatments over a bark-plastic compound / HDPE (high density polyethylene) for improving the adhesion between this material and *E. nitens* solid wood to produce a hybrid element for building purposes.

Flame and chemical surface treatments increased the material shear strength by tension respect to control sample. In the case of hybrid material wood+C2 the mechanical strength increased by 30 and 35%. Respectively, while the material wood+C4 increased by 5 y 7%. Both surface treatments also decreased the failure percentage by adhesive, due to a superficial oxidation process on composites C2 and C4, increased wettability, decreased contact angle (Θ), and increased the adhesion between substrates respect to control samples.

These promising results in terms of: wettability, surface treatments and hybrid material mechanical properties, allow to propose the use of a new hybrid material as a building alternative structures, as doors and windows structures, with simultaneous application in indoor and outdoor environment, combining properties of both materials related to aesthetic, workability and wood availability and also advantages of the bark plastic composite, such as dimensional stability, moisture resistance, density and others.

Key words: *Eucalyptus nitens*, bark, fiber, HDPE, composite material, surface treatment

INTRODUCCIÓN

La industria forestal y maderera son actividades importantes para la economía actual de Chile, en particular la industrialización del *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) es una alternativa que se proyecta en años recientes dadas sus buenas características, como resistencia a climas fríos y alta tasa de crecimiento que la han convertido en una especie apta para la forestación, principalmente como materia prima pulpable.

Existen actualmente en el país 168 mil hectáreas plantadas con *Eucalyptus nitens*, concentradas entre las regiones del Bio Bio y Los Lagos (INFOR 2008, INFOR 2010), siendo así la tercera especie más plantada en el país (López, 2006). Estadísticas forestales de INFOR (2008) reportan que la región del Bio Bio consume aproximadamente 3 millones de metros cúbico de madera en trozo por año de *E. nitens*. Geldres *et al.* (2006) consideran que el volumen promedio de la corteza de un árbol de *E. nitens*, con edad entre 4-7 años, representa un 9.3 % del volumen total del árbol lo que significa un volumen aproximado de 279.000 m³ de corteza al año potencialmente disponible como materia prima.

Diferentes industrias de la madera, como aserraderos, plantas de tableros, de pulpaje y papel, de tratamiento de postes, requieren el proceso de descortezado (Grobelaar y Mayuchi, 2000). Dada la escasa información sobre las características y la calidad de este subproducto forestal, la corteza muchas veces es solo usada para producir energía o es dejada en el bosque luego del aprovechamiento forestal. En este escenario, Velásquez (2006) propuso una valoración global y clasificación del residuo que podría ser utilizado como fuente de energía y una redefinición del residuo que podría ser reutilizable para que otras industrias lo transformen en productos de ingeniería con mayor valor agregado.

Investigaciones actuales en el área de la ingeniería de materiales van orientadas a explorar nuevas fibras naturales como refuerzo de matrices termoplásticas para el desarrollo de nuevos materiales y aplicaciones (Taj *et al.*, 2007; Nabi y Jog, 1999; Suresh *et al.*, 2009). En el caso particular de Chile, Ballerini *et al.* (2008), exponen que la investigación y desarrollo de materiales compuestos a base de fibra natural y plástico se ha venido realizando en los últimos años, sin embargo han sido estudios parciales y en algunos casos con limitaciones tecnológicas. La región del Bio Bio es una de las regiones más críticas en Chile en términos climáticos, con altos índices de viento y lluvia cada año. Productos como puertas, marcos para ventana y revestimientos, disponibles en el mercado nacional chileno, están relacionados principalmente con problemas de estabilidad dimensional (en el caso de productos de madera), y el bajo rendimiento en términos de resistencia a la humedad y hermeticidad, asociado al tipo de material y diseño del elemento, lo que puede generar altos costos de mantenimiento (Ballerini *et al.*, 2008).

Fibras naturales procedentes de fuentes forestales y renovables, como las de la madera y la corteza, usadas como refuerzo de matrices termoplásticas han dado buenos resultados, así lo demuestran los trabajos de Sewda y Maiti (2007), Bouafif *et al.* (2009), Yemele *et al.* (2010) y Saini *et al.* (2010) con fibra de corteza, y los de Harper y Wolcott (2004), Migneault *et al.* (2008), Sewda y Maiti (2009) y Gacitúa y Wolcott (2009) con fibras de madera. Un aspecto que se debe estudiar en los materiales compuestos es la zona de transición entre adhesivo y el adherendo en una unión adhesiva, es decir la interfase (Sharpe, 1972), ya que es la zona en donde se puede explicar el fenómeno de la adhesión y es donde las propiedades del sustrato y adherendo se combinan para otorgar las propiedades al material compuesto (Gardner, 2006, Jacob *et al.*, 2008, Frihart y Hunt, 2010). Además, de acuerdo a Brewis y Briggs (1981) la adhesión a polietileno es compleja y requiere entender las características adhesivas de este polímero.

Productores e industriales de la especie quieren dar atención no solo a la elaboración de pulpa, sino también al desarrollo de un modelo silvícola que permita producir trozas de calidad para obtener madera sólida de *E. nitens* y productos de mayor valor agregado (Vásquez, 2005). El objetivo es estudiar la humectabilidad y el efecto de dos tratamientos superficiales sobre el material compuesto de fibra de corteza/HDPE, para mejorar la adhesión entre este y madera sólida de *E. nitens*, para conformar un material híbrido como elemento constructivo.

METODOLOGÍA

Sitio de Muestreo y Preparación de la Fibra de Corteza

El sitio de muestreo fue en la Hacienda Rucamanqui que pertenece a la empresa Forestal Mininco y que está ubicada en la comuna de Yungay (37° 12' LS y 71° 54' LO) región del Bio Bio, Chile. La plantación tiene manejo silvicultural con raleo, está sobre suelo trumao y la edad de los árboles de *E. nitens* fue de 14 años. Se cortaron 31 árboles y se aprovechó la corteza a diferentes alturas (3, 6, 9 y 12 m). La corteza fue secada a estufa a un contenido de humedad promedio de 10,8 %. La corteza a las diferentes alturas fue mezclada y procesada en un molino de cuchillas Ming Lee, con placa clasificadora de aproximadamente 20 mesh y perforaciones de 4 mm de diámetro, luego fue re-molida en el mismo molino, pero usando esta vez una placa clasificadora de 20 mesh con perforaciones de 1,5 mm de diámetro para aumentar los porcentajes de cantidad de partícula de tamaño 60 y 100 mesh, requeridos para el proceso de extrusión (Yemele *et al.*, 2010). El proceso de clasificación del tamaño de fibra se realizó con un tamiz de torre oscilatorio.

Material Compuesto Vía Extrusión

Después del proceso de molido la corteza fue secada en estufa a un contenido de humedad no mayor al 4%. Se prepararon cargas (*batch*) de 5 kg para cada una de las cuatro formulaciones (Cuadro N° 1). Previo al proceso de extrusión, cada carga fue pre-mezclada por 2 h en un mezclador a 110°C. Luego en una extrusora Milacron TC-35 de doble tornillo cónico co-rotativo, se obtuvo un perfil rectangular extruido de 5x50 mm. Las condiciones del proceso de extrusión, fueron las siguientes: temperatura del barril 170 °C, temperatura salida cabezal 180 °C, velocidad tornillo 4/min, torque 38 Nm.

El tamaño de fibra usado fue 60 y 100 mesh en porcentaje de proporción peso/peso de 50/50%. Las proporciones 70/30% y 60/40%, corresponden al porcentaje peso/peso entre termoplástico/fibra. El termoplástico usado fue HDPE F00952 provisto por Saudí Basic Industries Corp., en forma de pellet con índice de fusión 0,05 g/10 min y densidad 950 kg/m³. Los aditivos usados fueron Struktol TPW 104 (lubricante) y Licocene PE MA grafitado 4351 TP (agente acoplante) provistos por Clariant Colorquímica Ltda.

Cuadro N° 1
FORMULACIONES DEL MATERIAL COMPUESTO HDPE/FIBRA CORTEZA

Compuesto	Proporción 70/30 HDPE/fibra		Carga Agente Acoplante* (%)	Carga Agente Lubricante* (%)	Total Batch (kg)
	HDPE (kg)	Fibra Seca (kg)			
C2	3,50	1,50	5,00	2,50	5,00
Compuesto	Proporción 60/40 HDPE/fibra		Carga Agente Acoplante* (%)	Carga Agente Lubricante* (%)	Total Batch (kg)
	HDPE (kg)	Fibra Seca (kg)			
C4	3,00	2,00	5,00	2,50	5,00

*Sobre peso seco fibra de corteza

Tratamiento Superficial al Material Compuesto y Ángulo de Contacto (humectabilidad)

Se usaron dos tratamientos para mejorar la adhesión superficial del material compuesto fibra de corteza/HDPE. El tratamiento químico para poliolefinas tipo HDPE se realizó bajo la norma ASTM (2003). El tratamiento por flameado de acuerdo a Gupta (2006), y además se consideró una muestra control de cada tipo de material compuesto

La evaluación de los tratamientos superficiales se realizó midiendo el ángulo de contacto (Θ), según el método de la gota sésil considerado el más adecuado para este tipo investigaciones (Scheikl y Dunky, 1998; De Meijer *et al.*, 2000; Gindl *et al.*, 2001; Gindl y Tschegg, 2002). Se midió el ángulo de contacto (Θ) al control y material compuesto con tratamiento por flameado hasta los

15 minutos (fotos cada 3 min) y para el tratamiento químico hasta los 3 minutos (fotos cada 30 s).

Las fotografías fueron capturadas con una video cámara Panasonic HDC-TM60 full HD. Luego las 93 fotografías capturadas fueron analizadas con el software Image Pro-Plus® v.6.2 para determinar la altura (H) y diámetro (d) de la gota de agua (Figura N° 1). El ángulo de contacto en grados se calculó con la ecuación (1). Una proyección del ángulo de contacto en el tiempo, en cada caso estudiado, se realizó con una regresión lineal (Figura N° 2)

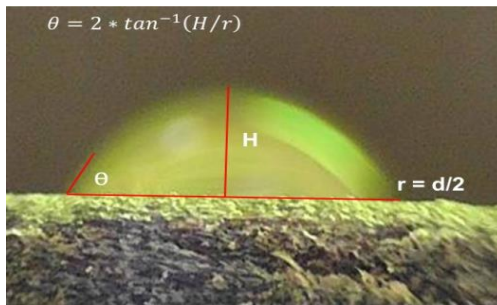
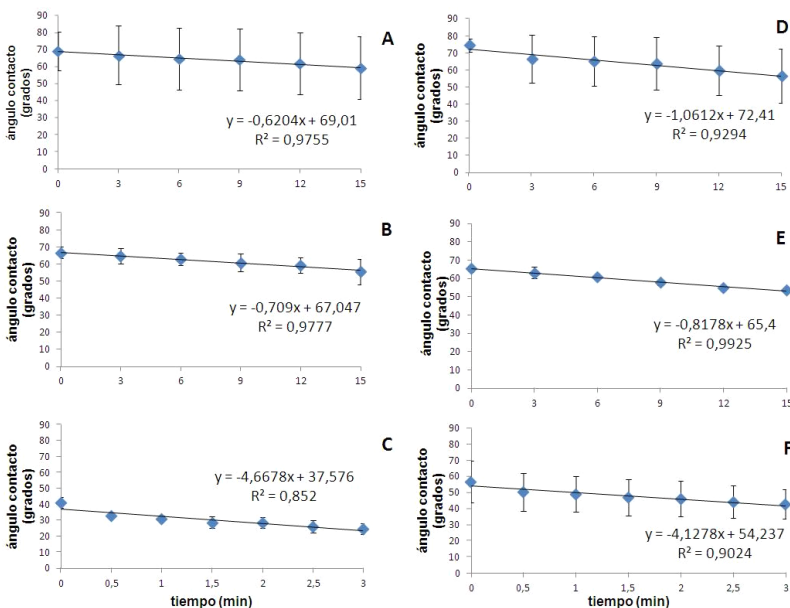


Figura N° 1
ÁNGULO DE CONTACTO (θ) ENTRE ADHIERENDO (GOTA DE AGUA APROX. 7μL) Y MATERIAL COMPUESTO (SUSTRATO)



A. Control C2 B. C2 flameado C. C2 TQ D. Control C4 E. C4 flameado F. C4 TQ

Figura N° 2
REGRESIONES LINEALES PARA ESTIMAR ÁNGULO DE CONTACTO (HUMECTABILIDAD) EN EL TIEMPO DE LAS SUPERFICIES TRATADAS DESPUÉS DE 3 Y 15 min.

La finalidad de los tratamientos es aumentar la energía superficial (sólido) del material compuesto en donde predomina el termoplástico HDPE y supera la tensión superficial (líquido) del adhesivo, y aumentar la humectabilidad de la superficie del material y tener una mejor adhesión con la superficie de la madera. El líquido de prueba para medir la humectabilidad en la superficie de contacto del material compuesto tratado y el control fue agua desionizada. En el Cuadro N° 2 se muestran algunas características.

Cuadro N° 2
TENSIÓN SUPERFICIAL Y COMPONENTES DISPERSA Y POLAR DEL LÍQUIDO DE PRUEBA

Tipo de Disolvente	Y_{LV} (mJ/m ²)	Y_{LV}^d (mJ/m ²)	Y_{LV}^p (mJ/m ²)	Referencia
Agua	72,8	21,8	51,0	Vásquez <i>et al.</i> (2011)

Energía libre superficial del líquido (Y_{LV}), Y_{LV}^d y Y_{LV}^p son las componentes dispersa y polar del líquido

Unión Adhesiva Tipo Junta Traslapada

Para medir la adhesión y efecto de los tratamientos se realizó un ensayo para determinar la resistencia al cizalle por tracción de juntas traslapadas en una máquina de ensayos Zwick/Roell Z20. El material híbrido se construyó con una junta traslapada entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial uniendo dos láminas de 4 mm con adhesivo tipo poliuretano Purbond HB S209 de 160 g/m² con proceso de prensado por 1 h, presión 30-50 bar, temperatura 18.6 °C y HR 48.7%. Para determinar la resistencia al cizalle por tracción se usó la norma UNE-EN (2003).

Diseño experimental

Con un diseño factorial general de un solo factor (tratamiento) con 6 niveles y comparación de medias con el método LSD (diferencia mínima significativa) se evaluó el efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de falla por sustrato y la resistencia al cizalle por tracción de juntas traslapadas, el análisis se realizó con el software estadístico Design Expert® v. 7.0.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura N° 3 se muestra una comparación de la humectabilidad y cambio del ángulo de contacto (Θ) entre el material híbrido control y los materiales híbridos madera+C2 y madera+C4 después de los tratamientos superficiales de flameado y químico.

De acuerdo a Nussbaum (1999) el proceso de mojado (variación del ángulo de contacto) en el material compuesto se puede dividir en dos fases; una fase de extensión, en la que el diámetro de la gota aumenta haciendo que el líquido humecte la superficie del sólido, y una etapa de penetración, en la cual la velocidad de cambio del ángulo de contacto es aproximadamente constante. En la Figura N° 3 se observa que la velocidad de humectación es más evidente cuando la superficie de contacto del material compuesto fue tratada con el proceso químico, pues el tiempo de humectación decreció respecto del control y el tratamiento por flameado.

El tratamiento químico es más eficiente que el tratamiento por flameado, dado que el tratamiento químico con dicromato de potasio y ácido sulfúrico produce una alteración química a las capas superficiales del polímero mejorando las características de adhesión, una evidencia de esto es que el tratamiento químico funcionó mejor cuando existe mayor porcentaje de polietileno (HDPE) en el material compuesto tal como se muestra en el ensayo TQC2 comparado con el ensayo TQC4 (Figura N° 3).

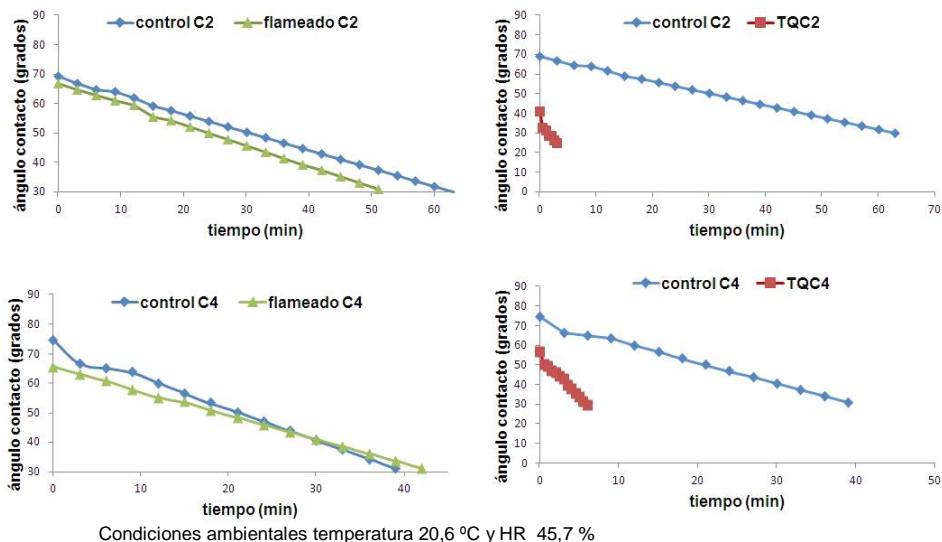


Figura N° 3
ÁNGULOS DE CONTACTO (HUMECTABILIDAD) DETERMINADOS PARA CONTROLES Y MATERIALES COMPUESTOS C2 Y C4 CON TRATAMIENTO POR FLAMEADO Y TRATAMIENTO QUÍMICO (TQ)

La aplicación de una llama directa (flameado) sobre la superficie promueve el nivel de energía libre del polímero. La flama del gas oxida la capa superficial donde los átomos de hidrógeno enlazados a los átomos de carbono de la cadena principal del polímero son reemplazados por átomos activos de oxígeno, creando una polaridad superficial en el polímero (Moghaddam y Mirhabibi, 2004).

El ANOVA indicó, con un nivel de confianza $\alpha = 0.05$, que el tipo de tratamiento es significativo para el porcentaje de falla por sustrato ($P = < 0.0001$), mientras que para la resistencia al cizalle por tracción no tiene efecto significativo ($P = 0.075$).

Sin embargo, el método LSD detectó diferencias mínimas significativas entre las magnitudes del valor de resistencia al cizalle respecto al control, al menos para el caso madera+C2. Lo que concuerda con los resultados obtenidos donde la magnitud de la resistencia al cizalle es mayor cuando está presente el tratamiento superficial respecto al tratamiento control (Cuadro N° 3).

Caso similar sucede con el porcentaje de falla por sustrato donde todas las probetas control fallaron por adhesivo, indicando que la adhesión entre sustratos es menos resistente mecánicamente (Figura N° 4A).

El incremento de la humectabilidad o disminución del ángulo de contacto (Θ) que producen ambos tratamientos superficiales (flameado y químico) se traduce en una mejor adhesión entre los sustratos (Figuras N° 3 y N° 4).

En el Cuadro N° 3 se muestra la resistencia promedio al cizalle por tracción para juntas traslapadas entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial.

En la Figura N° 4 se muestran los tipos de falla obtenidos luego del ensayo de cizalle por tracción para juntas traslapadas entre madera sólida de *E. nitens* y material compuesto con tratamiento superficial.

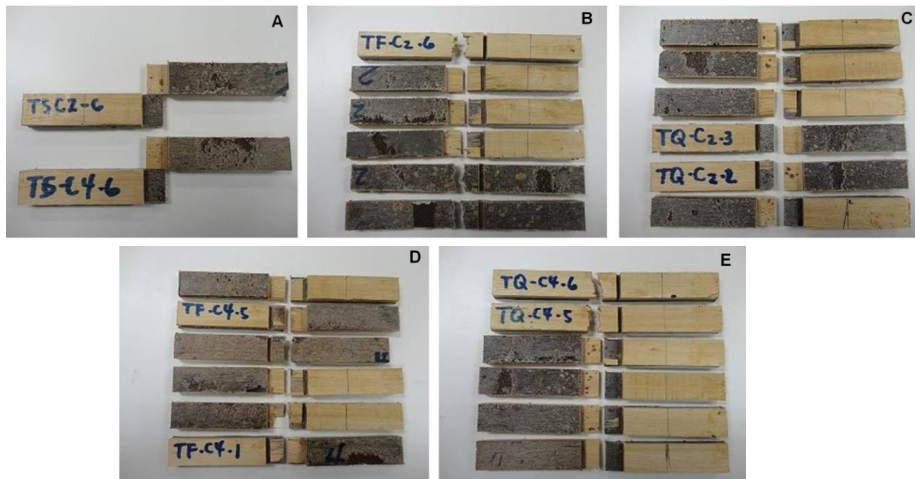
Cuadro N° 3
RESISTENCIA PROMEDIO AL CIZALLE POR TRACCIÓN PARA JUNTAS TRASLAPADAS
ENTRE MADERA SÓLIDA Y MATERIAL COMPUESTO CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Tipo material	Tratamiento	Resistencia Promedio Cizalladura por Tracción (N/mm ²)	DE	CV (%)	Promedio Falla por Sustrato (%)
Madera+C2	Control	3.95 ^A	0.39	9.80	0 ^A
	Flameado	5.66 ^B	1.24	21.83	80 ^B
	TQ	6.12 ^B	0.27	4.38	30 ^C
Madera+C4	Control	4.67 ^A	0.31	6.62	0 ^A
	Flameado	5.01 ^A	0.76	15.08	100 ^B
	TQ	4.93 ^A	0.95	19.23	42 ^C

Letra diferente indica diferencia mínima significativa por método LSD

DE: Desviación Estándar

CV: Coeficiente de Variación



A: 100% falla por adhesivo

B, C, D y E: Falla por sustrato (madera o material compuesto), no hay falla por adhesivo

Figura N° 4
TIPO DE FALLA LUEGO DE ENSAYO DE CIZALLE POR TRACCIÓN

Los tratamientos superficiales de flameado y químico aumentaron la resistencia al cizalle por tracción respecto del material control, para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%. La diferencia entre ambos materiales es el porcentaje de HDPE que se encuentra dentro del material compuesto (Cuadro N° 1), por lo que se presume que el proceso de oxidación (activación de superficie) se produjo en proporción a la cantidad de polímero HDPE.

Ambos tratamientos superficiales también disminuyeron el porcentaje de falla por adhesivo, ya que, por procesos de oxidación en la superficie de contacto del material compuesto (C2 y C4), aumentó la humectabilidad y disminuyó el ángulo de contacto mejorando la adhesión respecto a la muestra control.

Similares resultados fueron obtenidos por Gramlich *et al.* (2006) en cuanto al comportamiento del tipo de falla obtenido luego de realizado el ensayo de cizalle por tracción, sin embargo, Gramlich *et al.* (2006) reportan un mejor porcentaje de incremento en la resistencia al cizalle con un tratamiento por flameado respecto a los resultados de este estudio, esto puede deberse a la diferencia del gas utilizado para el proceso de flameado, en este trabajo se usó una mezcla de gas butano/propano en una proporción de 95/5%, mientras que en el trabajo citado usaron solo gas propano.

CONCLUSIONES

Ambos tratamientos superficiales incrementan la humectabilidad (disminuye ángulo de contacto) de la superficie de contacto del material compuesto, la disposición de grupos funcionales (procesos de oxidación), y la magnitud de la resistencia al cizalle por tracción, y disminuyen significativamente el porcentaje de falla por adhesivo, mejorando la adhesión entre sustratos respecto del material control.

El tratamiento superficial por flameado y químico aumentó la resistencia al cizalle por tracción respecto del material control. Para el caso del material híbrido madera+C2 la resistencia mecánica aumentó un 30 y 35%, respectivamente. Mientras que para el material híbrido madera+C4 aumentó un 7 y 5%, respectivamente.

El efecto significativo del tratamiento superficial por flameado y químico sobre la adhesión, aumentó el porcentaje de falla por sustrato evidencia de una mejor adhesión, ya que, tanto el material híbrido madera+C2 y madera+C4 disminuyeron su proporción de falla por adhesivo respecto del material control.

Estos prometedores resultados en la humectabilidad, tratamientos superficiales y propiedades mecánicas del material híbrido, permiten proponer el uso de un nuevo material como elemento constructivo alternativo en estructuras de puertas y ventanas con aplicación simultánea en ambiente interior y exterior; combinando las propiedades de ambos materiales por una parte, estética, trabajabilidad, y disponibilidad de la madera, y por otra características del compuesto termoplástico reforzado con fibra de corteza tales como, estabilidad dimensional, resistencia a la humedad, densidad, entre otras.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro de Biomateriales & Nanotecnología (CBN), al Laboratorio de Adhesivos, al Laboratorio de Diseño y Tecnología de la Madera y al Centro de Investigación en Polímeros Avanzados (CONICYT REGIONAL/CIPA/R08C1002), por el apoyo logístico y de equipos. Agradecen también a Forestal Mininco por facilitar el material de estudio. Al Tecnológico de Costa Rica (TEC), a la Organización de los Estados Americanos (OEA) y al programa de doctorado en Ciencias e Industrias de la Madera del DIMAD/UBB, por el apoyo económico de becas.

REFERENCIAS

ASTM, 2003. Standard practice for preparation of surfaces of plastics prior to adhesive bonding. Vol 15.06. Adhesives. American Society for Testing and Materials ASTM D 2093-03. Philadelphia, US. 3pp

Ballerini, A.; Bustos, X.; Ramos, M. and Wechsler, A., 2008. Innovation in window and door profile designs using a wood-plastic composite. In: Proceedings of the 51st International Convention of Society of Wood Science and Technology. Paper SW-05. Concepción-Chile. 9p. Consultado el 07 Marzo, 2011. En línea: <http://www.swst.org/meetings/AM08/proceedings/WS-05.pdf>

Bouaffif, H.; Koubaa, H.; Perré, P. and Cloutier, A., 2009. Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40(12): 1975-1981

- Brewis, D. and Briggs, D., 1981.** Adhesion to polyethylene and polypropylene. *Polymer* 22(1): 7-16
- de Meijer, M.; Haemers, S.; Cobben, W. and Militz, H., 2000.** Surface energy determinations of wood: comparison of methods and wood species. *Langmuir* 16: 9352-9359
- Frihart, C. and Hunt, C., 2010.** Adhesives with wood materials bond formation and performance. Chapter 10. In: *Wood Handbook—Wood as an engineering material*. Centennial edition. Robert J. Ross Editor. General Technical Report. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: 1-24
- Gacitúa, W. and Wolcott, M., 2009.** Morphology of wood species affecting wood-thermoplastics interactions: Microstructure and mechanical adhesion. *Maderas Ciencia y Tecnología* 11(3): 217-231
- Gardner, D., 2006.** Adhesion mechanisms of durable wood adhesive bonds. Chapter 19. In: *Characterization of the Cellulosic Cell Wall*. Douglas Stokke, Leslie Groom, Eds. Blackwell Publishing: Ames IOWA: 254-265
- Geldres, E.; Gerding, V. y Schlatter, J., 2006.** Volumen de *Eucalyptus nitens* de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile. *Bosque* 27(3): 223-230
- Gindl, M.; Sinn, G.; Reiterer, A. and Tschegg, S., 2001.** Wood surface energy and time dependence of wettability: A comparison of different wood surfaces using an acid-base approach. *Holzforschung* 55: 433-440
- Gindl, M. and Tschegg, S., 2002.** Significance of the acidity of wood to the surface free energy components of different wood species. *Langmuir* 18: 3209-3212
- Gramlich, W.; Gardner, D. and Neivant, D., 2006.** Surface treatments of wood-plastic composites (WPC) to improve adhesion. *Journal of Adhesion Science and Technology* 20(16): 1873-1887
- Grobbelaar, F., Manyuchi, K. 2000.** Eucalypt debarking: an international overview with a Southern African perspective. *Forest Engineering Southern Africa (FESA)* 68 p. Disponible en <http://www.yourday2day.com/site2/icfrfiles/publication/FESA/Eucalypt%20debarking.PDF> Sitio web visitado el 28 Septiembre 2011
- Gupta, B., 2006.** Development of a coating technology for wood plastics composites. Thesis Master of Science in Materials Science and Engineering. School of Mechanical and Engineering Materials. Washington State University. Pullman WA-USA 130 p
- Harper, D. and Wolcott, M., 2004.** Interaction between coupling agent and lubricants in wood-polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 35(3): 385-394
- INFOR, 2008.** Series y Estadísticas. Instituto Forestal (INFOR). Disponible en <http://www.infor.cl/es/series-y-estadisticas.html> Sitio web visitado el 05 Septiembre 2010
- INFOR. 2010.** Anuario forestal. *Boletín Estadístico* Nº 128, 134 p
- Jacob, M.; Anandjiwala, R. and Thomas, S., 2008.** Characterization of interfaces in composites using micro-mechanical techniques. Chapter 20. Part IV Vinyl polymer technology. In: *Handbook of Vinyl Polymers: Radical Polymerization, Process and Technology*. 2nd edition. Mumaya Mishra and Yusuf Yagci eds. 689-716
- López, C., 2006.** *Eucalyptus nitens*: Una alternativa que se proyecta. *Lignum Bosque-Madera & Tecnología* 90: 39-41
- Migneault, S.; Koubba, A.; Erchiqui, F.; Chaala, A.; Englund, K.; Krause, C. and Wolcott, M., 2008.** Effect of fiber length on processing and properties of extruded wood-fiber/HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science* 110(2): 1085-1092
- Moghaddam, H. and Mirhabibi, A., 2004.** A development method for studying the surface energy variation on high density polyethylene. *Iranian Polymer Journal* 13(6): 485-494
- Nabi, D. and Jog, P., 1999.** Natural Fiber Polymer Composites: A review. *Advances in Polymer Technology* 18(4): 351-363
- Nussbaum, R. M., 1999.** Natural surface inactivation of Scot Pine and Norway Spruce evaluated by contact angle measurements. *Holz Roh Werkstoff* 57 (6): 419-424
- Saini, G.; Bhardwaj R.; Choudhary, V. and Narula, A., 2010.** Poly(vinyl chloride)-*Acacia* bark flour composite: Effect of particle size and filler content on mechanical, thermal, and morphological characteristics. *Journal of*

Applied Polymer Science 117(3): 1309-1318

Scheikl, M. and Dunky, M., 1998. Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. *Holzforschung* 52: 89-94

Sewda, K. and Maiti, S., 2007. Mechanical properties of HDPE/bark flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 105(5): 2598-2604

Sewda, K. and Maiti, S., 2009. Mechanical properties of teak wood flour-reinforced HDPE composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 112(3): 1826-1834

Sharpe, L. H., 1972. The Interphase in Adhesion. *Journal of Adhesion* 4(1): 51-64

Suresh, M.; Srikanth, G. and Biswas, S., 2009. Thermoplastic Composite-Technology & Business Opportunities. Technology Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). Department of Science and Technology. Govt. of India. 9p. Disponible en:
http://www.tifac.org.in/index.php?option=com_content&view=article&id=535:thermoplastic-composites-technology-a-business-opportunities&catid=85:publications&Itemid=952 Sitio web visitado el 25 Diciembre 2010

Taj, S.; Ali Munawar, M. and Khan, S., 2007. Review: Natural fiber-reinforced polymer composites. *Proceedings Pakistan Academy Science* 44(2): 129-144

UNE-EN, 2003. Una Norma Española-Europäische-Norm. Determinación de la resistencia a la cizalladura por tracción de juntas solapadas. UNE-EN 205. AENOR (eds.). Madrid-España. 15pp

Vásquez, C., 2005. *Eucalyptus nitens*: Mucho más que solo una opción pulpable. Revista Lignum Bosque-Madera & Tecnología. Reportaje Junio (80):52-55

Vásquez, G.; Galiñanes, C.; Freire, M.; Antorrena, G. y González, J., 2011. Estudio del mojado y caracterización superficial por microscopía de barrido laser confocal de chapas de madera obtenidas por desenrollo. Maderas. Ciencia & Tecnología 13(2): 183-192

Velásquez, B., 2006. Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. *Ecosistemas* 15(1): 77-86

Yemele, M.; Kouba, A.; Cloutier, A.; Soulounganga, P. and Wolcott, M., 2010. Effect of bark content and size on the mechanical properties of bark/HDPE composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41(1): 131-137