

Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano

Development of agglomerated boards auto-connected from fiber of the central vein of the leaf of banana

Catalina Álvarez¹, Ewellyn Capanema², Orlando Rojas³, Piedad Gañán⁴

*1*Docente-Investigador, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 # 70-01, Medellín, Colombia. catalina.alvarezl@correo.upb.edu.co.

2. Investigador, North Carolina State University. Raleigh, NC 27696, USA .

3. Docente-Investigador. North Carolina State University . Raleigh, NC 27696, USA .

4. Docente-Investigador. Universidad Pontificia Bolivariana. Circular 1 # 70-01, Medellín, Colombia

Recibido 20/10/09, Aceptado 01/12/09,

RESUMEN

Un tablero aglomerado es un composite elaborado a partir de fuentes lignocelulósicas, donde el enlace de las fibras puede ser logrado usando adhesivos sintéticos o naturales, o por la auto-adhesión de fibras activadas. Un tablero auto-enlazado es elaborado por medio de un proceso de termo-compresión donde las fibras son expuestas a altas temperaturas. Durante este proceso las fibras experimentan una degradación, por medio de la cual se forman radicales libres que pueden reaccionar para formar nuevos enlaces (por ejemplo C-C o C-O-C). El fenómeno de auto-adhesión está relacionado con la presión, el tiempo y la temperatura del proceso, así como con la humedad de la fibra. En el presente trabajo, tableros aglomerados auto-enlazados fueron desarrollados a partir de fibras de la vena central de la hoja de plátano. La influencia de las variables antes mencionadas sobre las propiedades mecánicas de los tableros fueron evaluadas por medio de ensayos de flexión. La degradación térmica de las fibras fue evaluada por medio de ensayos termogravimétricos. Las propiedades mecánicas mostraron una alta influencia de la presión y la temperatura, mientras que el tiempo y la humedad de la fibra no las alteraron.

Palabras clave: tablero aglomerado, fibra lignocelulósica, degradación térmica, auto-enlace.

ABSTRACT

A fiberboard is a composite made from lignocellulosic fiber. The bound of the fibers can be achieved using natural or synthetic adhesives, or by auto-adhesion of the activated fibers. To development auto-adhesion fiberboard an hot pressing process is used where the fibers are exposed to high temperature. During this process the fibers experiment a degradation, and free radical are produced which can react to form new bound (e.i, C-C or C-O-C). The auto-adhesion is related with the press, the time and the temperature of the proces, as well moisture fiber. In the present work, an auto-adhesion fiberboard was development from plantain leaf sheat fiber bundles. The influence on the mechanical properties of fiberboard of the variables mentioned previously was evaluated by used a flexion test. The thermal degradation of fiber was carried out by means of termogravimetical analysis (TGA). The mechanical properties were significantly influenced by the press and the temperature, while the time and the moisture fiber did not change it.

Key words: Fiberboard, lignocelulosic fiber, thermal degradation, auto-adhesión

Introducción

Un tablero aglomerado es un material compuesto elaborado a partir de madera y adhesivos sintéticos, cuyas características pueden ser manipuladas según las necesidades [1]. A pesar de que las propiedades físicas y mecánicas de estos pueden ser más bajas que las de la madera, estas son más homogéneas. Por esta razón y debido a que las dimensiones de un tablero se pueden conseguir en tamaños superiores, del orden de 1,22 x 2,44 m² [1], la demanda de estos productos y el consumo de madera y adhesivos sintéticos para su fabricación incrementa año tras año en todo el mundo [2].

Con miras a trabajar en procesos y productos más amigables con el medio ambiente, diferentes investigaciones se han llevado a cabo utilizando una gran variedad de residuos lignocelulósicos [3,4, 5,6] y en el desarrollo de adhesivos naturales o biodegradables provenientes de fuentes naturales renovables tales como taninos [7], carbohidratos y proteínas [8] y lignosulfatos o taninos provenientes de diferentes árboles [9] para la elaboración de tableros aglomerados. A pesar de las características biodegradables de los adhesivos, estos tienen la desventaja de ser muy costosos. Por esta razón la producción de tableros aglomerados sin el uso de las resinas sintéticas es otra temática de investigación de estos materiales, denominados auto-enlazados [10].

El enlace de materiales lignocelulosicos para obtener un tablero aglomerado sin resinas sintéticas es logrado aplicando altas presiones y temperatura [11]. Esto es debido a que durante el proceso de termo-compresión un proceso de activación de los principales componentes de la fibra ocurre y se genera un fenómeno conocido como auto-adhesión, donde reacciones de degradación y condensación de los materiales lignocelulósicos pueden presentarse [2,12]. Este fenómeno de auto-adhesión y su fuerza de enlace son el resultado de una compleja asociación de factores donde la temperatura, la presión, el contenido de humedad y el tiempo de reacción juegan un papel importante en el proceso de condensación lignina-lignina y/o lignina-polisacáridos con efectos inmediatos en las propiedades del material [2,12].

El efecto de la presión sobre la condensación del material está relacionado con la deformación que experimentan las partículas durante la compactación del material, donde un íntimo contacto es necesario para que sus componentes puedan reaccionar y formar nuevos enlaces. Este contacto puede ser mejorado logrando un estado cauchoso, de ablandamiento o estado de relación de la lignina presente en las fibras [2,10,13]. En trabajos previos ha sido reportado que el ablandamiento térmico de lignina está asociado con la temperatura de procesado y con la absorción de hu-

medad de la fuente lignocelulósica [10]. De esta manera, el porcentaje de humedad y el tiempo y la temperatura (necesarias para alcanzar el ablandamiento de fibra) pueden influir con el fenómeno de auto-adhesión [2]. Por otro lado, debido a las altas temperaturas del proceso la fibra experimenta una degradación que pueden generar radicales libres, los cuales pueden reaccionar y formar acoples vía radical-radical que contribuyen a la auto-adhesión de los tableros [14].

Colombia es uno de los principales productores de plátano a nivel mundial. A partir de la cosecha de su fruto se generan grandes desperdicios como son frutos de mala calidad y sus cáscaras, el raquis, el pseudotallo y sus hojas. Dentro de las zonas de cultivo, las hojas son uno de los principales desperdicios generados, debido a que durante el año, se realizan 18 ciclos de un proceso llamado deshoje. La inadecuada disposición de estos residuos puede generar problemas ambientales por causa de insectos y malos olores, o por quemas no controladas, además pueden obstruir los drenajes de los cultivos aumentando la humedad de éstos. Aunque parte de las fibras son aprovechadas para hacer artesanías, aun existe una cantidad muy grande de desperdicios que pueden ser empleados como materia prima en diferentes procesos y productos, donde la madera es normalmente empleada, ya que la fibra obtenida del cultivo del plátano, así como la madera, es un composite biopolimérico, ya que sus principales constituyentes son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Estas características les permiten ser empleadas en la elaboración de diferentes productos, como por ejemplo tableros aglomerados.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la influencia que las variables presión, tiempo y temperatura de procesado y la humedad de la fibra tienen sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados desarrollados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano.

Metodología

Fibra lignocelulósica: Fibra de la vena central de la hoja de plátano cultivado comercialmente en la zona de Urabá-Antioquia (Colombia) fue suministrada por la Fundación Social Corbanacol. Antes de la elaboración de los tableros la fibra fue molida y pasada por una malla número 40.

Elaboración del material: Para la elaboración de los tableros, fibras previamente molidas fueron depositadas uniformemente en un molde. Las condiciones del proceso de termocompresión se presentan en la tabla 1. Para cada una de las variables se trabajaran tres valores diferentes. Presión: 3,0; 4,1 y 5,2 MPa; Temperatura: 180, 200 y 220°C; Tiempo: 5, 7 y 10 min; Humedad de la fibra: 7, 15 y 22%. Las diferentes humedades se lograron de la siguiente manera: la humedad de 7% fue lograda dejando la fibra du-

rante 48 h en un cuarto con una humedad del 50% y una temperatura de 23°C. Las humedades 15 y 22% se lograron adicionando 10 y 20% de agua a la fibra que tenía la humedad del 7%. El ciclo de presión de la termo-compresión de los tableros aglomerados fue dividido en tres partes: una pre compresión de 1 minuto después de la cual la muestra es descomprimida para liberar vapores generados por el calentamiento de la muestra, una segunda parte donde la presión es sostenida durante un tiempo determinado, y por último una descompresión lenta.

Ensayo de flexión: Los ensayos de flexión para calcular las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad y esfuerzo máximo) fueron realizados en un analizador mecánico dinámico (DMA) TA instrument Q800 V20.6 Build serie 24. Para los ensayos se utilizó el método de fuerza/deformación y se trabajó con la mordaza dual cantiléver a una temperatura de 30 °C y una rampa de fuerza de 0.5 N/min. Para analizar si existe alguna influencia o relación entre la degradación de la fibra durante la termo-compresión y las propiedades mecánicas de los tableros, se realizaron isotermas en atmósferas oxidativas durante aproximadamente 20 min a una rata de calentamiento de 60 °C/min (tratando de simular lo ocurrido durante la termo-compresión). Todas las muestras analizadas fueron previamente acondicionadas en un cuarto a 23 ± 1 °C a una humedad relativa de 50%.

Análisis de resultados

Propiedades mecánicas de tableros aglomerados desarrollados a diferentes condiciones. Los resultados obtenidos del ensayo de flexión (ver Figuras 1 y 2) mostraron que al incrementar el porcentaje de humedad de las fibras de plátano, las propiedades mecánicas de los tableros aglomerados tienden a decrecer. Este comportamiento puede estar asociado con una menor adhesión entre las fibras de-

bido a la acumulación de vapor de agua dentro del material, el cual durante el primer ciclo de presión no logró ser evacuado. Otros autores [10] han mostrado que cuando la temperatura del proceso está por debajo de 180 °C, a medida que el porcentaje de humedad aumenta, el MOE y el MOR mejoran, y que a temperaturas superiores a los 180 °C las propiedades no muestran ser sensibles a la humedad. Estos resultados también coinciden con el trabajo de Suchsland y otros [15] quienes elaboraron tableros aglomerados a partir de pulpa mansoni a 199 °C y 211 °C. En este trabajo, el material mostró poca sensibilidad al método de formación (mojado o seco) y los autores concluyeron que a altas temperaturas los puentes de hidrógeno entre fibras no influyen sobre las propiedades mecánicas ya que la ausencia de agua en el proceso de formación y en el prensado no disminuye significativamente la calidad en enlace.

Las propiedades de los tableros T-180 y Ref no mostraron una diferencia entre ellas. El MOE y el MOR de estos materiales fue de aproximadamente 2,6 GPa y 18,7 MPa respectivamente. En el caso del tablero T-220, el MOE y el MOR fueron 4,9 GPa y 30,1 MPa respectivamente, mostrando un incremento de 189% en el caso del MOE y 164% en el caso del MOR en relación a las muestras elaboradas a menores temperaturas (ver Figuras 1 y 2). Esta diferencia entre las propiedades de los tableros T-180 y Ref respecto a T-220 pueden estar relacionadas con una mayor degradación a temperaturas más altas, principalmente de las hemicelulosas [2], lo cual da origen a la formación de más radicales estables y por lo tanto a la formación de más enlaces vía radical-radical [14] mejorando la fuerza de auto-adhesión del material.

Okuda y Sato [12] evaluaron el efecto de variar la temperatura en un rango entre 140 y 200 °C. Los resultados mostraron que a medida que la temperatura aumenta el

Tabla 1. Condiciones del proceso de termo-compresión.

Muestra		Temperatura	Presión	Tiempo	Humedad
Variable	Abreviación				
Temperatura 180 °C	T-180	180 °C	4,1 MPa	7 min	7%
Temperatura 220 °C	T-220	220 °C	4,1 MPa	7 min	7%
Referencia	Ref	200 °C	4,1 MPa	7 min	7%
Presión 3,0 MPa	P-3.0	200 °C	3,0 MPa	7 min	7%
Presión 5,2 MPa	P-5.1	200 °C	5,2 MPa	7 min	7%
Tiempo 5 min	t-5	200 °C	4,1 MPa	5 min	7%
Tiempo 10 min	t-10	200 °C	4,1 MPa	10 min	7%
Humedad 15%	H-15	200 °C	4,1 MPa	7 min	15%
Humedad 22%	H-22	200 °C	4,1 MPa	7 min	22%

MOE y MOR incrementan. Por otro lado Bouajila y otros [2] realizaron un estudio donde se evaluó la influencia de la temperatura en un rango desde 140 hasta 275 °C. En este trabajo los autores observaron un evidente incremento de las propiedades mecánicas entre 140 y 170 °C, mientras que entre 170 y 200 °C no se observan cambios significativos. Cuando la temperatura incrementó nuevamente (por encima de 215 °C) las propiedades mecánicas de los tableros mejoraron hasta alcanzar los 260 °C por encima de la cual las propiedades comenzaron a disminuir.

En el caso de la variable presión ocurre algo diferente que con las variables humedad de la fibra y temperatura. En las Figuras 1 y 2 puede observarse un claro incremento de las propiedades mecánicas cuando la presión aumenta. El MOE y el MOR de los tableros P-3,0 tienen un valor de 0,32 GPa y 6,5 MPa, mientras que para los tableros Ref estas incrementan hasta 2,6 GPa y 18,3 MPa, 2,8 y 7.5 veces respectivamente. El MOE y el MOR de los tableros P-5,2 fue de 3,8 GPa y 21,6 MPa. El incremento observado entre los tableros Ref y P-5,2 es menor comparado con el incremento entre los tableros P-3,0 y P-4,1, sin embargo sigue siendo muy alto comparado con los cambios presentados en la variable humedad.

A pesar de la influencia que tienen la presión sobre las propiedades mecánicas, es la temperatura la responsable de la activación de la fibra y de las reacciones de condensación y entrecruzamiento de los componentes de esta [2]. Gracias a las altas presiones, los radicales formados durante la degradación pueden reaccionar y formar acoples vía radical-radical [14,16,17].

El análisis de la influencia del tiempo mostró que para las condiciones utilizadas, las propiedades de los tableros no presentan cambios significativos entre ellos, sin embargo una pequeña tendencia a mejorar cuando incrementa el tiempo de termo-compresión es observada (ver Figuras 1 y 2). De acuerdo a lo sugerido anteriormente, cuando se expusieron los resultados de la variable temperatura, estos resultados pueden estar relacionados con la poca diferencia que hay entre el porcentaje de degradación a 5, 7 y 10 min, como se muestra más adelante. Resultados obtenidos por Bouajila y otros [2] mostraron que las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resinas sintéticas incrementaban con mayores tiempos de prensado, sin embargo a los 3,3 minutos las propiedades se estabilizaban y no mostraban cambios significativos. Estos autores atribuyen este comportamiento (por estudios realizados) a que en este tiempo las fibras prensadas (prensadas a 200 °C) alcanzan una temperatura de 175 °C la cual está relacionada con la temperatura de transición de la lignina.

Degradación de las fibras de la vena central de la hoja de plátano. A partir de isoterma a diferentes temperaturas

Figura 1. Módulo de elasticidad de tableros auto-enlazados desarrollados a diferentes valores de tiempo, presión, temperatura y humedad de la fibra.

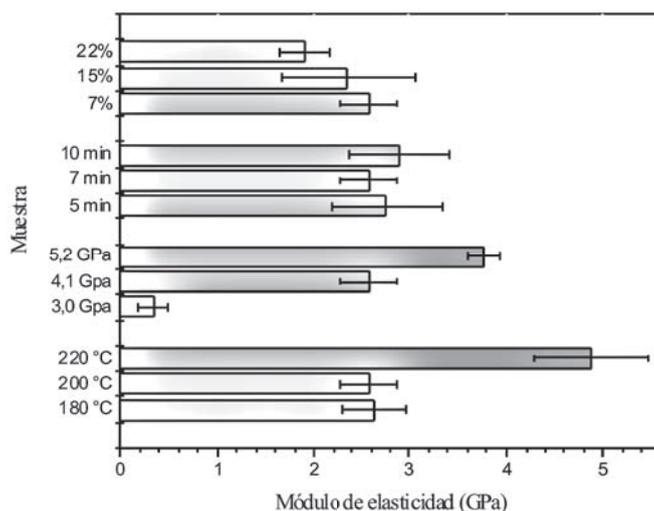
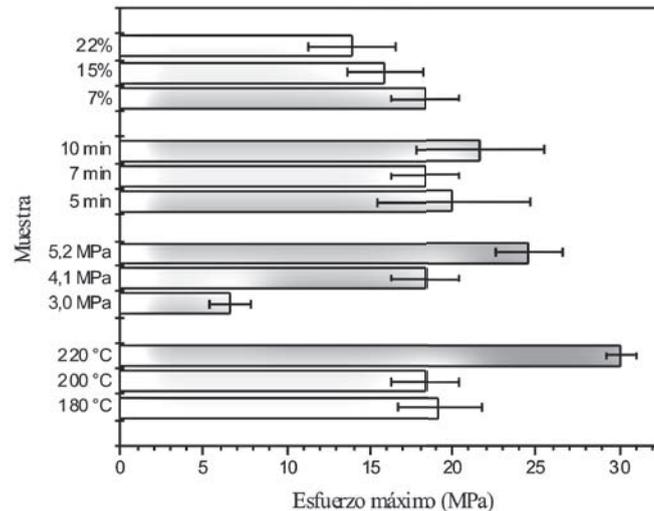
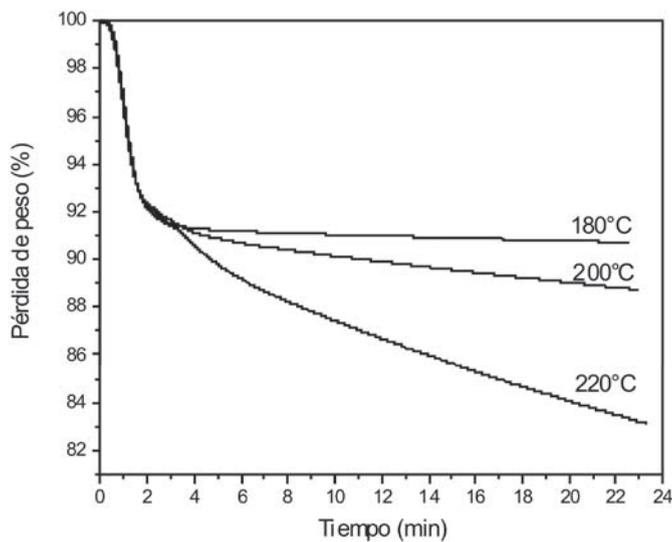


Figura 2. Esfuerzo máximo de tableros auto-enlazados desarrollados a diferentes valores de tiempo, presión, temperatura y humedad de la fibra.



(180, 200 y 220 °C) durante un corto tiempo (superior al tiempo de termo-compresión) se extrajeron los datos del porcentaje de degradación de la fibra a diferentes tiempos (ver Figura 3). El isoterma de las tres temperaturas muestra el mismo comportamiento hasta 1,7 min aproximadamente. Este tiempo equivale a un valor cercano a 100 °C, por lo que el comportamiento en ese intervalo de tiempo puede estar relacionado con la pérdida de humedad de la fibra. A partir de este tiempo, la curva de las tres temperaturas presenta un cambio que está relacionado con el co-

Figura 3. Isotermas a diferentes temperaturas (180, 200 y 220°C) durante 20 min



mienzo de la degradación de los componentes de la fibra, principalmente los componentes de bajo peso molecular llamados extraíbles y las hemicelulosas [18].

Tratando de relacionar el porcentaje de degradación de la fibra con las propiedades de los tableros T-180, Ref y T-220, se tomó el porcentaje de degradación a los 7 min, tiempo que dura la termo-compresión de estos materiales. Como era de esperarse, mientras aumenta la temperatura, el porcentaje de degradación incrementa (ver Tabla 2), siendo mucho mayor la degradación a una temperatura de 220 °C la cual presenta un 11,3%, mientras que las muestras tratadas a 180 y 200 °C muestran 8,9 y 9,5 % respectivamente. El incremento en la degradación entre T-180 y Ref es de 6,7%, mientras que el incremento entre Ref y T-220 es de 18,9%. Estos resultados confirman que una mayor degradación de los componentes de la fibra tiene una influencia sobre las propiedades del material, y que pueden estar relacionadas con la formación de más radicales libres causados por la degradación de las hemicelulosas.

Tabla 2. Porcentaje de peso perdido durante la exposición de las fibras de plátano a diferentes tiempos y temperaturas.

Muestra	180 °C	Ref (200 °C)	220 °C
Pérdida peso (%) (por min 7)	8,9	9,5	11,3
Muestra	5 min	7 min	10 min
Peso perdido (%) (a 200 °C)	8,9	8,9	9,0

Cuando se hace este mismo análisis en los tableros t-5, Ref y t-10 se puede observar que la diferencia en la degradación a 200 °C a diferentes tiempos, no es muy significativa. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de degradación. Entre las temperaturas 5 y 7 min no se observa una diferencia en el porcentaje de degradación, y solo una diferencia del 1.1% es observada entre 7 y 10 min.

Conclusiones y recomendaciones

Aunque se ha sugerido que la degradación de las fibras lignocelulósicas durante la termo-compresión puede causar una pérdida de las propiedades de las fibras y por ende de los tableros obtenidos, los resultados obtenidos durante este trabajo muestran todo lo contrario. La mejora de las propiedades mecánicas a altas temperaturas son atribuidos a la formación de especies radicales durante la degradación de los componentes de la fibra, principalmente las hemicelulosas.

La desviación estandar en las propiedades de los tableros es debida a una distribución poco uniforme de las fibras en el molde antes de ser procesadas. Para mejorar la homogeneidad del material, es necesario diseñar un proceso para obtener una distribución más homogénea de las fibras.

Los resultados obtenidos mostraron que a mayores temperaturas se obtienen los tableros con las mejores propiedades mecánicas. Sin embargo, para el desarrollo de materiales que no querieran propiedades tan altas, solo con un incremento de la presión se puede obtener un material con buenas características.

Para comprender mejor los resultados, se recomienda realizar ensayos de composición química y de detección de radicales libres que soporten los resultados obtenidos durante este trabajo.

Bibliografía

- [1] Nemli G., Ozturk I., Aydin I. Some of the parameters influencing surface roughness of particleboard. *Building and Environment* 40 (2005) 1337-1340.
- [2] Bouajila J., Limare A., Joly C., Dole P. Lignin plasticization to improve binderless fiberboard mechanical properties. *Polymer Engineering and Science* 45 (2005) 809-816.
- [3] Akgul M., Tozluoglu A. Utilizing peanut husk (*Arachis hypogaea* L.) in the manufacture of medium-density fiberboards. *Bioresource Technology* 99 (2008) 5590-5594.
- [4] Mo X., Hu J., Sun X.S., Ratto J.A. Compression and tensile strength of low-density straw-protein particleboard. *Industrial Crops and Products* 14 (2001) 1-9.

- [5] Laemsak N., Okuma M. Development of boards made from oil palm frond II: properties of binderless boards from steam-exploded fibers of oil palm frond. *Journal of Wood Science* 46 (2000) 322-326.
- [6] Mancera C., Ferrando F., Salvadó J. *Cynara cardunculus* as raw material for the production of binderless fiberboards: Optimization of pretreatment and pressing conditions. *Journal of Wood Chemistry and Technology* 28 (2008) 207-226.
- [7] Okuda N., Sato M. Bond durability of kenaf core binderless boards I: two-cycle accelerated aging boil test. *Journal of Wood Science* 53 (2007) 139-142.
- [8] Yang I., Kuo M., Myers D.J., Pu A. Comparison of protein-based adhesive resins for wood composites. *Journal of Wood Science* 52 (2006) 503-508.
- [9] Widsten P., Hummer A., Heathcote C., Kandelbauer A. A preliminary study of green production of fiberboard bonded with tannin and laccase in a wet process. *Holzforschung* 63 (2009) 545-550.
- [10] Okuda N., Hori K., Sato M. Chemical changes of kenaf core binderless boards during hot pressing (I): influence of the pressing temperature condition. *Journal of Wood Science* 52 (2006) 244-248.
- [11] Felby C., Thygesen L.G., Sanadi A., Barsberg S. Native lignin for bonding of fiberboards-evaluation of bonding-mechanisms in boards made from laccase-treated fibers of beech (*Fagus sylvatica*). *Industrial Crops and Products* 20 (2004) 181-189.
- [12] Okuda N., Sato M. Manufacture and mechanical properties of binderless boards from kenaf core. *Journal of Wood Science* 50 (2004) 53-61.
- [13] Boonstra M.J., Van Acker J., Tjeerdsma B.F., Kegel V. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Annals of Forest Science* 64 (2007) 679-690.
- [14] Boustingorry P., Grosseau P., Guyonnet R., Guilhot B. The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster. *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 2081-2086.
- [15] Suchsland O., Woodson G.E., McMillin C.W. Binderless fiberboard from two different types of binder furnishes. *Forest Products Journal* 35 (1985) 63-68.
- [16] Nuopponen M., Vuorinen T., Jämsä S., Viitaniemi P. Thermal modifications in softwood studied by FTIR and UV resonance Raman spectroscopies. *Journal of Wood Chemistry* 24 (2005) 13-26.
- [17] Rousset P., LaPierre C., Pollet B., Quirino W., Perre P. Effect of severe thermal treatment on spruce and beech wood lignins. *Annals of Forest Science* 66 (2009) 110.
- [18] Spinacé M.A.S., Lambert C.S., Feroselli K.K.G., De Paoli M-A. Characterization of lignocellulosic curaua fibres. *Carbohydrate Polymers* 77 (2009) 47-53.