

ESPUMADO DE TERMOPLÁSTICOS RECICLADOS REFORZADOS CON SUB PRODUCTOS DE MADERA

Pablo Moreno¹, Denis Rodrigue², Yann Giroux², Aldo Ballerini³, William Gacitúa³

¹Doctorante en Ciencias e Industrias de la Madera. Departamento de Ingeniería en Madera. Universidad del Bio-Bío, Concepción, Chile.

pabmoren@alumnos.ubiobio.cl; Av.Collao N° 1202-Casilla 5C. Teléfono (00569)-81832848. Concepción-Chile.

²Departamento de Ingeniería Química, Universidad Laval, Quebec, Canadá.

³Departamento de Ingeniería en Madera. Universidad del Bio-Bío, Concepción, Chile.

RESUMEN

Los compuestos madera plástico están incrementando la competencia con productos de madera sólida y otros elementos como el plástico y el aluminio. Hoy día se observa la rápida comercialización de estos productos. Sin embargo, el número de aplicaciones ha sido limitado debido a su baja resistencia al impacto y alta densidad. El objetivo del presente estudio es de observar la morfología y caracterizar las propiedades mecánicas de compuestos madera plásticos reciclados espumados. El polietileno de alta densidad reciclado fue mezclado con fibra de madera de Pino radiata de 60 mesh. Las concentraciones de fibra fueron de 15% y 25% en peso, el polímero fue espumado con un agente químico ACA (azodicarbonamida) y se utilizó un MAPE (Epolene E-20) como agente acoplante. Los compuestos se obtuvieron usando un proceso de extrusión en un equipo doble tornillo. Para determinar el efecto de la concentración de la fibra y del agente espumante, se determinaron las propiedades mecánicas en tracción, flexión, dureza y resistencia al impacto en relación con la morfología y la densidad.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial existe una creciente búsqueda de nuevos materiales que puedan reemplazar a los tradicionales utilizados en la construcción como la madera, plástico y aluminio, entre otros, que sean de menor costo y presenten propiedades y características mejores o más eficientes. Los compuestos fabricados con sub productos de la madera y polietileno virgen se han destacado entre los productos considerados de post-consumo para la fabricación de compuestos madera-plástico. Los principales beneficios de producir compuestos con subproductos de la madera y plástico virgen son el aumento de la rigidez y bajos costos resultantes, sin embargo estas mejorías son usualmente acompañadas por pérdidas en la ductilidad y la resistencia al impacto del compuesto; otro de los inconvenientes es su alta densidad en comparación a ciertos plásticos y a la madera natural. Debido a estas deficiencias, la utilización de estos compuestos es limitada. Estos inconvenientes pueden impedir que sean competitivos y alcancen su pleno potencial en el mercado convencional de madera estructural y la posibilidad de ser utilizados en otras áreas diferentes.

La situación competitiva en la industria del procesamiento del plástico y hoy día con la incorporación del compuesto madera plástico, para minimizar los costos de producción hace que sea necesario mejoras e innovaciones en el proceso de producción para introducir productos nuevos o mejorados a los mercados. El material espumado contribuye a estas demandas ofreciendo una menor densidad y menores costos de procesamiento. Esto podría ser una nueva forma de ahorrar materiales, si los polímeros sólidos virgen pueden ser reemplazados por polímeros reciclados microcelulares con un 10% o más de reducción en materiales sin afectar significativamente las propiedades requeridas (Kishbaugh y Casale, 2002; Bledzki y Faruk, 2006).

Matuana *et al.*, 1999, trabajaron con compuestos madera plástico virgen incorporando espumantes y reportaron que las propiedades del compuesto mejoraron con la adición del espumante. Bledzki y Faruk, 2006, reportan que los agentes espumantes tienen un efecto positivo en la reducción de la densidad, caso diferente para las propiedades mecánicas, las cuales disminuyen gradualmente con el aumento del contenido de agente. Sugieren que el uso de espumantes con agentes acoplantes podrían mejorar significativamente las propiedades mecánicas.

Lundin *et al.*, 2004; Ashori y Nourbakhsh, 2008; Adhikary *et al.*, 2008; Ashori y Nourbakhsh, 2009, indican que existe en la actualidad una gran cantidad de trabajos realizados con diversas poliolefinas en condición virgen, reforzados con fibra de madera y otras fibras de origen natural, utilizando sistemas de extrusión e inyección. El estado del arte indica un vacío existente de información respecto a la espumación de termoplásticos reciclados reforzados con sub productos de la madera por los diferentes sistemas de producción y se podría aseverar que los pocos trabajos que podrían haberse desarrollados no han sido publicados o aún no se han realizados.

El presente estudio permitirá examinar el potencial de usar subproductos de la madera y plástico reciclado para la fabricación de compuestos madera plásticos espumados y observar la morfología y caracterizar las propiedades mecánicas de los compuestos y aportar resultados al campo de la investigación científica en el área de compuestos madera plásticos reciclados espumados.

MATERIALES Y METODOS

El polímero termoplástico reciclado utilizado en este estudio fue donado por el Laboratorio de Química de la Universidad Laval, Quebec, Canadá. Se realizó un análisis de calorimetría de barrido diferencial (DSC), para conocer su composición y concentración, el polímero estaba conformado por una mezcla con un 82% de Polietileno de alta densidad y un 18% de Polipropileno reciclado, con una densidad de 930 kg/m³ y un índice de fluidez de 6,42 g/10 min correspondiente a ASTM D1238-04 condición 230°C/2,16 kg. El agente acoplante polietileno maleatado MAPE (Epolene E-20) fue usado como agente acoplante y Celogen 754A azodicarbonamida (ACA) activada en forma de polvo fue usado como agente espumante. La fibra de pino radiata fue proporcionada por el Laboratorio de Materiales Compuestos de la Universidad del Bío-Bío. El aserrín de la fibra de madera fue tamizada y se utilizó el retenido en 60 mesh (250 micrones), fue secada hasta alcanzar un porcentaje inferior al 2%. Se utilizó un extrusor de doble

tornillo contrarrotativo (modelo rheocord TW-100), equipada con 10 zonas de temperaturas y con un cabezal plano.

En un primer paso el polímero reciclado fue extruido con y sin agente espumante, posteriormente se extruyeron los compuestos madera-plástico variando la concentración de la fibra en 15% y 25% y fue mantenida constante la concentración de 5% para el agente acoplante por peso de la fibra de madera y 0,20% para el agente espumante por peso del polímero. Para un total de 10 formulaciones como se indica a continuación:

F1= Polímero reciclado; F2= Polímero reciclado+15% fibra de madera; F3= Polímero reciclado+25% fibra de madera; F4= Polímero reciclado+15% fibra de madera+5% MAPE; F5= Polímero reciclado+25% fibra de madera+5% MAPE; F6= Polímero reciclado + 0,20% ACA; F7= Polímero reciclado+15% fibra de madera+5% MAPE+ 0,20% ACA; F8= Polímero reciclado+25% fibra de madera+5% MAPE+0,20% ACA; F9= Polímero reciclado+15% fibra de madera+0,20% ACA; F10= Polímero reciclado+25% fibra de madera+0,20% ACA.

Para las formulaciones del polímero con y sin espumante, fueron mezclados en un recipiente e introducidas a la extrusora a través de un alimentador volumétrico calibrado. Para el resto de las formulaciones, el polímero reciclado mezclado con las concentraciones fijas de aditivos, fue introducido por un alimentador volumétrico calibrado y las concentraciones de fibra de madera en un 15% y 25% se introdujeron por otro alimentador volumétrico calibrado a la extrusora. En todos los casos la velocidad del tornillo de la extrusora se mantuvo a 100 rpm y las temperaturas de la extrusora se mantuvieron en 165, 170, 170, 175, 180, 185, 190, 185, 180, 175 y 165 en el cabezal. Las muestras extruidas a la salida del cabezal presentaron un ancho de 120 mm y 3 mm de espesor, fueron enfriadas a temperatura ambiente.

Se realizaron pruebas para la determinación de la densidad, se utilizó un picnómetro modelo ultrapyc 1200e, para la resistencia a la tracción y módulo (ASTM D 638), resistencia a la flexión y módulo (ASTM D790), fue utilizada una maquina universal (Model instron 5565). Para la determinación de resistencia a la dureza se utilizó un durómetro análogo, modelo 307L, ASTM D2240 tipo D y para la resistencia al impacto un equipo Tinius Olsen Model Izod 104. Las dimensiones de las muestras para cada propiedad fueron preparadas de acuerdo a los respectivos estándares ASTM. Se cortaron pequeñas piezas rectangulares de la parte central de las placas, las cuales se sometieron por un tiempo de 30 s en nitrógeno para evitar la deformación de la morfología y lograr una fractura rígida en el sentido longitudinal y transversal y ser analizadas en un microscopio electrónico (SEM) marca Jeol modelo 840A, utilizando aumentos de 20X y 50X. Un análisis de varianza fue conducido para examinar las diferencias en las medias de los compuestos madera plástico a las diferentes concentraciones de fibras con las diferentes formulaciones. Todos los análisis se realizaron utilizando un software estadístico Design Expert versión 8.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1, se puede observar una micrografía en el polímero reciclado con espumante, la diversidad de tamaños de las burbujas, formas elípticas, abiertas y cerradas, predominan en dirección al sentido del flujo que en el sentido

transversal y esto se vio reflejado en la abrupta disminución de la densidad del polímero reciclado al ser espumado.

La figura 2, muestra un compuesto con 15% de concentración de fibra sin la incorporación del agente acoplante. Se puede observar espacios vacíos generados por las fibras extraídas durante la tracción, así como una fractura de fibra muy perpendicular, siendo atribuible a la débil interacción interfacial entre las fibras de madera y la matriz. Por el contrario, cuando se utiliza MAPE (figura 3), las muestras presentan una mejor interacción fibra-matriz. Al impregnarse las fibras con el polímero por la presencia del agente acoplante, se reduce la cantidad de fibras extraídas o fracturadas. La figura 4, muestra un compuesto al 15% de fibra incorporando MAPE y ACA, se puede observar la buena integración provocada por el agente acoplante entre la fibra y la matriz y de igual manera fibras que se deformaron antes de fracturarse, quedando adherida a la matriz y la presencia de burbujas dentro de la matriz polimérica. Contrario a esto, en la figura 5, se presenta un compuesto espumado sin la incorporación del MAPE, se logra observar la falta de adhesión por parte del agente acoplante, permitiendo que las fibras se deformen y rompan con facilidad.

La figura 6, muestra la densidad del polímero reciclado y los compuestos madera-plásticos. Se observa que el polímero reciclado (F1) obtuvo una densidad de 938 kg/m^3 , para los compuestos madera-plástico sin la incorporación de aditivos (F2,F3), con concentración de fibras de 15% el valor fue de 967 kg/m^3 , al aumentar la concentración de fibra a 25% la densidad aumentó a 971 kg/m^3 . Al añadir el agente MAPP a los compuestos (F4,F5), la densidad tiene un ligero aumento, siguiendo la tendencia de que a mayor concentración de fibra mayor es la densidad. Para el polímero reciclado incorporando el agente espumante (F6) se observa una disminución de la densidad de 938 kg/m^3 a 801 kg/m^3 , en el caso de los compuestos incorporando el MAPE y ACA (F7,F8) se aprecia que la densidad para la concentración de 15% es de 991 kg/m^3 y de 1011 kg/m^3 para 25% de concentración de fibra. Dado que la fibra de madera no puede ser espumada, incrementando la cantidad de madera en la muestra necesariamente disminuye la fracción de vacío total. Para los compuestos (F9,F10), solo se incorporó el ACA y la densidad disminuyó en 872 kg/m^3 para 15% de fibra y de 922 kg/m^3 para 25% de fibra. Zuñiga, 2010, encontró valores similares de densidad en un proceso de extrusión de perfiles espumados de madera plástico, utilizando como matriz polipropileno virgen, fibra de madera de pino radiata, MAPP como agente acoplante e Hydrocerol como agente espumante.

En la figura 7, se muestra la resistencia a la dureza del polímero reciclado y los compuestos madera-plásticos. Se puede apreciar tanto para el polímero sin agente espumante y los compuestos madera plástico con y sin agente acoplante que los valores de dureza fueron superiores a aquellos en los cuales se incorporó el agente espumante.

La figura 8, muestra la resistencia al impacto del polímero reciclado y los compuestos madera-plásticos. Se aprecia que la mayor resistencia al impacto la presenta el polímero reciclado, el cual es una de las cualidades del polietileno de alta densidad en comparación a los compuestos madera plástico. Se puede apreciar que el aumento en la concentración de fibra de madera de 15% a 25%, provoca que la energía a la fractura del compuesto disminuya, presentando menor

resistencia al impacto los compuestos con 25% de concentración de fibra de madera con y sin MAPE. Estos resultados son similares a los encontrados por Raygoza y Gastinel, 2009, los cuales estudiaron el efecto de la fibra de agave de desecho en el reforzamiento de polipropileno virgen y reciclado sin agente espumante.

La figura 9, muestra la resistencia a la flexión y tracción del polímero reciclado y los compuestos madera-plásticos. Se puede observar un aumento de la resistencia a la flexión y tracción de los compuestos respecto al polímero reciclado. El módulo de elasticidad en flexión se incrementa al aumentar la concentración de la fibra de 15% a 25% (39 MPa y 100 MPa) y con la incorporación del agente acoplante mejora la resistencia (159 MPa y 200 MPa) y causa un aumento en la propiedad del módulo, haciendo el compuesto más rígido. En relación al módulo de elasticidad en tracción se observa el mismo comportamiento que el de flexión, la resistencia a la tracción aumenta al incorporar fibra de madera de 15% a 25% (40 MPa y 100 MPa) y con la incorporación del agente acoplante el aumento es más significativo (159 MPa y 200 MPa). Estos resultados son similares a los obtenidos por Adhikary *et al*, 2008, quienes trabajaron con polietileno de alta densidad virgen y reciclados sin espumación. La mejoría en las propiedades con el uso de agente acoplantes se atribuye principalmente a la formación de enlaces interfaciales entre la fibra y la matriz, permitiendo llevar a cabo un esfuerzo reforzante, aunque se provoca una rigidización al ir aumentando la concentración de fibra en el compuesto (Qui *et al.*, 2004; Mohanty *et al.*, 2004; Lu *et al.*, 2005; Raygoza y Gastinel, 2009). Se puede observar que la presencia del agente espumante, podría tener un efecto negativo, disminuyendo la resistencia a la tracción y flexión del polímero reciclado y de los compuestos. Pero las disminuciones dadas en este estudio no son tan significantes en relación a los compuestos no espumados, esto puede ser atribuido a la distribución de la fibra y burbujas dentro de las muestras, de igual manera al polímero reciclado el cual ha experimentado mayor efecto degradativo, que ocasionan modificaciones en su estructura en comparación de un polímero en condición virgen.

CONCLUSIONES

En este estudio, las propiedades mecánicas de compuestos madera plásticos reciclados espumados fueron investigados y discutidos en relación con la morfología y la densidad.

Se observó que el uso de un agente acoplante es esencial al mejorar significativamente el enlace interfacial entre la matriz y el reforzante.

La incorporación de un agente espumante redujo la densidad del polímero reciclado de 938 kg/m³ a 801 kg/m³. En los compuestos con 15% y 25% de fibra con agente espumante sin la incorporación del agente acoplante, la densidad fue de 872 kg/m³ y 922 kg/m³ respectivamente.

Se encontró que ambos módulos de elasticidad en flexión y tracción, presentaron un aumento en la resistencia al aumentar la concentración de fibra a 25% y al incorporar el agente acoplante y se ven ligeramente reducidos por la incorporación del agente espumante.

Los valores de la energía media del impacto disminuyen al aumentar la concentración de la fibra de madera de 15% a 25% , y de igual manera con la presencia del agente espumante. La resistencia a la dureza se ve disminuida al incorporar el agente espumante en comparación con los compuestos sin aditivos y con agentes acoplantes.

BIBLIOGRAFÍA

- Adhikary, K., Pang S., Staiger, M. 2008. Dimensional Stability and Mechanical Behavior of wood-plastic composites based on recycle and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering*. 39(5):807-815.
- Ashori, A., Nourbakhsh, A. 2008. A comparative study on mechanical properties and water absorption behavior of fiber-reinforced polypropylene composites prepared by OCC fiber and aspen fiber. *Polymer Composites*. 29(5):574-578.
- Ashori, A., Nourbakhsh, A. 2009. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management*. 29(4): 1291-1295.
- Bledzki A., Faruk, O. 2006. Microcellular injection molded wood fiber-PP composites: Part I-effect of chemical foaming Agent content on cell morphology and physic-mechanical properties. *Journal of Cellular Plastic*. 42 (63):63-76.
- Kishbaugh, Xu; Casale, M. 2002. Prediction of the mechanical properties with part weight reduction for injection molding microcellular foam parts, SPE ANTC tech. paper, 2: 1905-1909.
- Lu, J., Negulescu, I., Wu, Q. 2005. Maleated Wood fiber/high density polyethylene composites: Coupling mechanism and interfacial characterization. *Composites Interfaces*. 12(1-2):125-140.
- Lundin, Y., Cramer, S.M., Falk, R.H., Felton, C. 2004. Accelerated weathering of natural fiber-filled polyethylene composites. *Materials in Civil Engineering*. 16 (4): 351-363.).
- Matuana L., Balatinecz, J., Park, C. 1999. Foaming of woodfiber-plastic composites. *The Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*. Madison, Wisconsin. USA. 318 pag.
- Mohanty, S., Verna, S., Nayak, S., Tripathy, S. 2004. Influence of fiber treatment on the performance of sisal-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 94 (3):1336-1345.

- Qui, W., Endo, T., Hirotsu, T. 2004. Interfacial interaction of a novel mechanochemical composite of cellulose with maleated polypropylene. Journal of Applied Polymer Science. 94(3): 1326-1335.
- Raygoza, R., Gastinel J. 2009. Efecto de la fibra de agave de desecho en el reforzamiento de polipropileno virgen o reciclado. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 8(3):319-327.
- Zúñiga, Q., Alejandro, D. 2010. Optimización de un proceso de extrusión de perfiles espumados de madera plástico mediante un análisis de superficie de respuesta. Tesis Magister. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.85 págs.

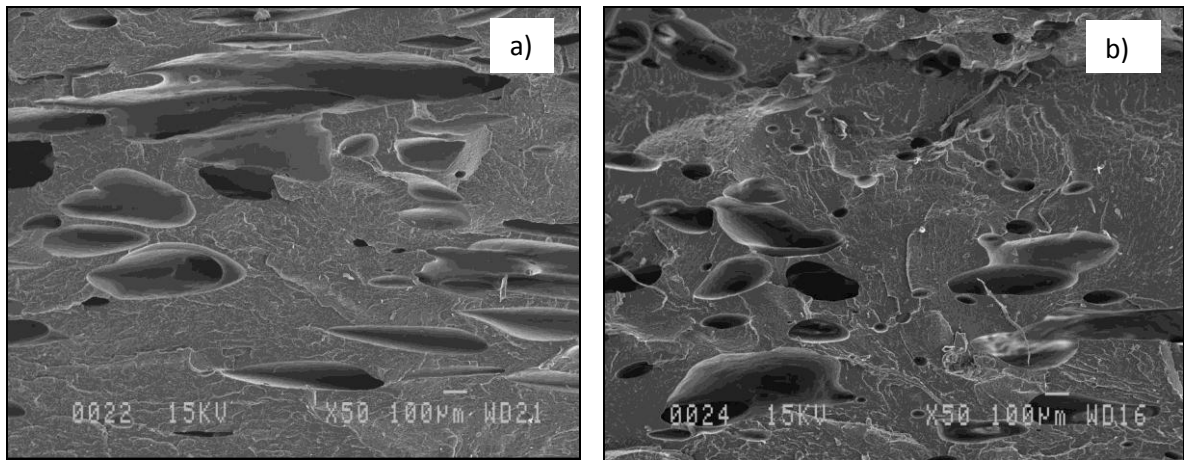


Figura 1. Polímeros reciclados espumados en sentido longitudinal(a) y transversal (b) con 50X.

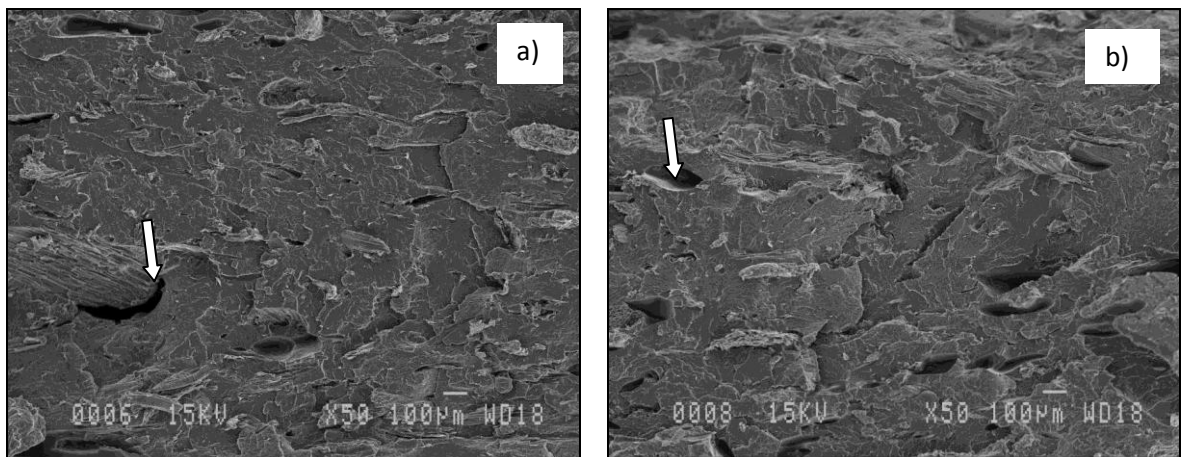


Figura 2. Compuesto madera plástico reciclado, 15% fibra, sin MAPE y ACA, 50X.
a) sentido longitudinal b) sentido transversal.

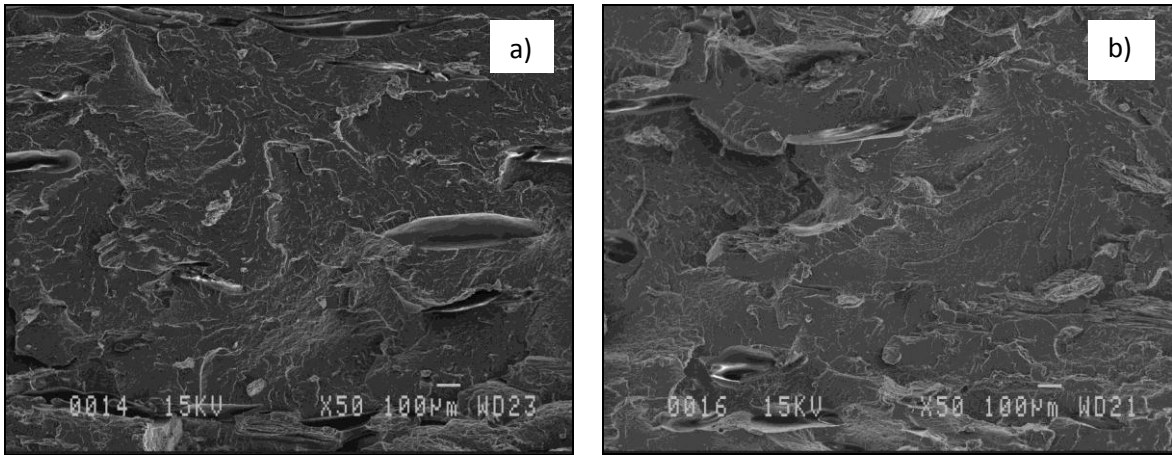


Figura 3. Compuesto madera plástico reciclado 15% fibra, 5% MAPE, 50X.
a) sentido longitudinal b) sentido transversal.

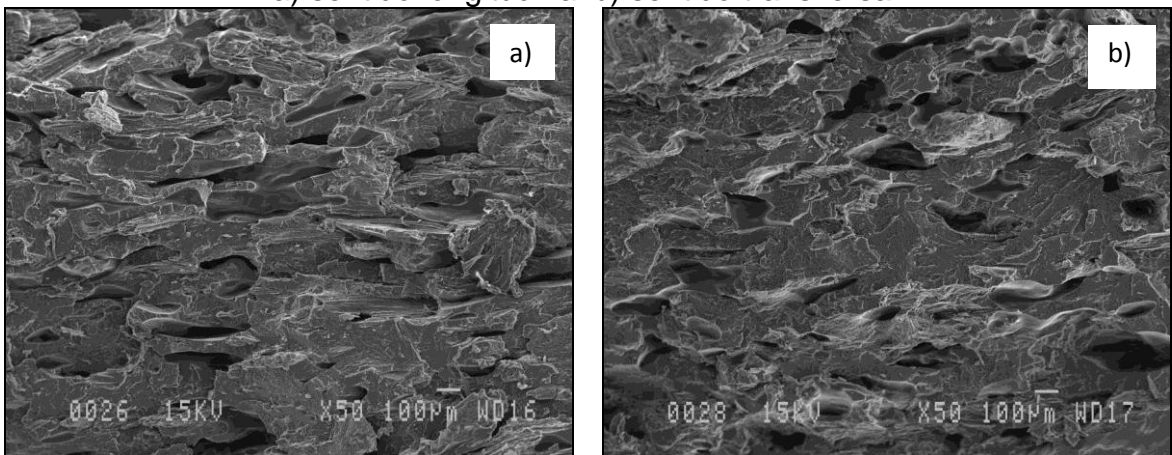


Figura 4. Compuesto madera plástico reciclado, 15% fibra, 5% MAPE, 0,2% ACA, 50X. a) sentido longitudinal b) sentido transversal.

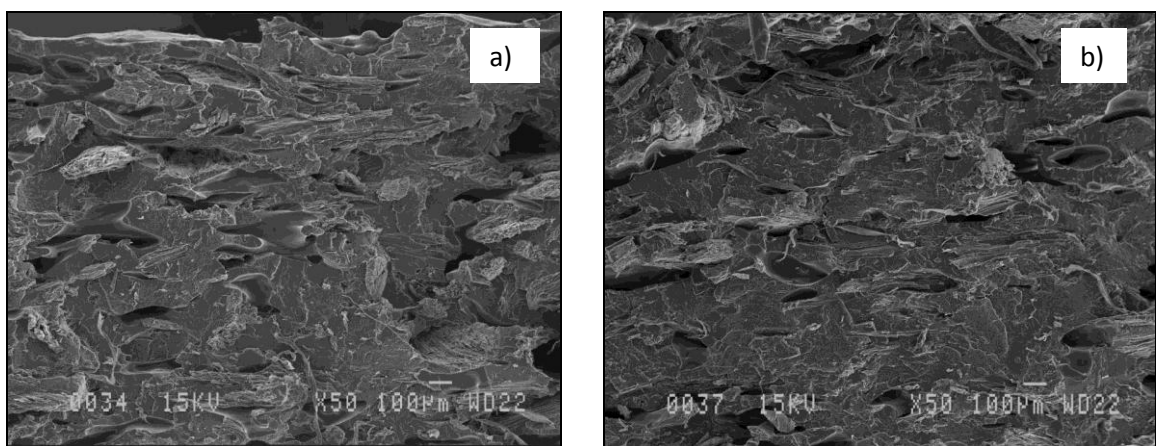


Figura 5. Compuesto madera plástico reciclado 15% fibra, 0,2% ACA, 50X .
a) sentido longitudinal b) sentido transversal.

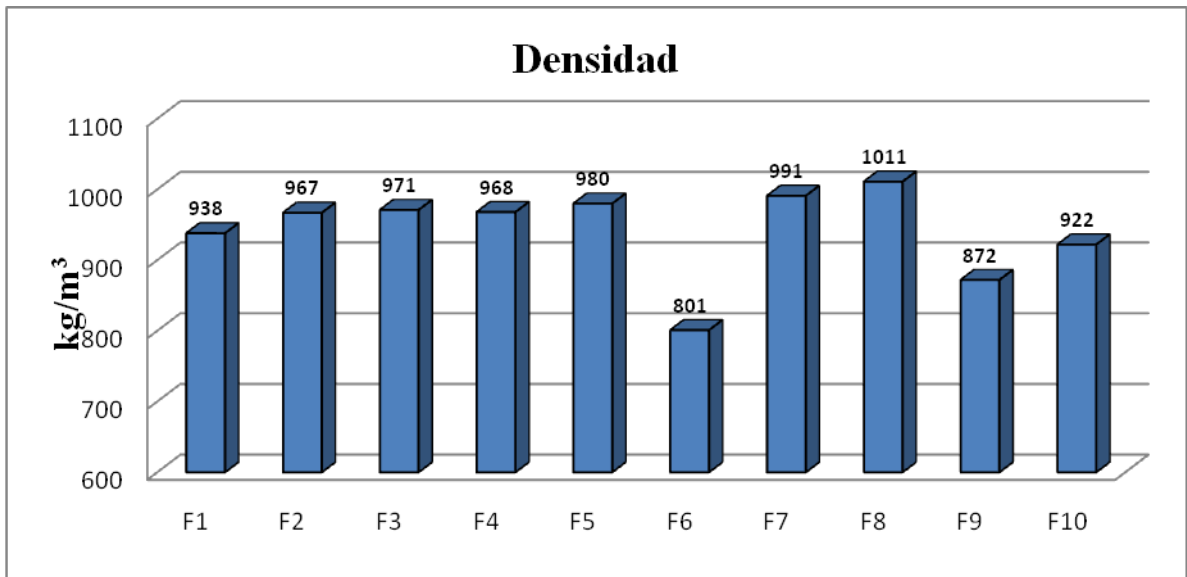


Figura 6. Densidad como función de la concentración de fibra en polimeros reciclados, reforzados con fibra de pino radiata, con y sin aditivos.

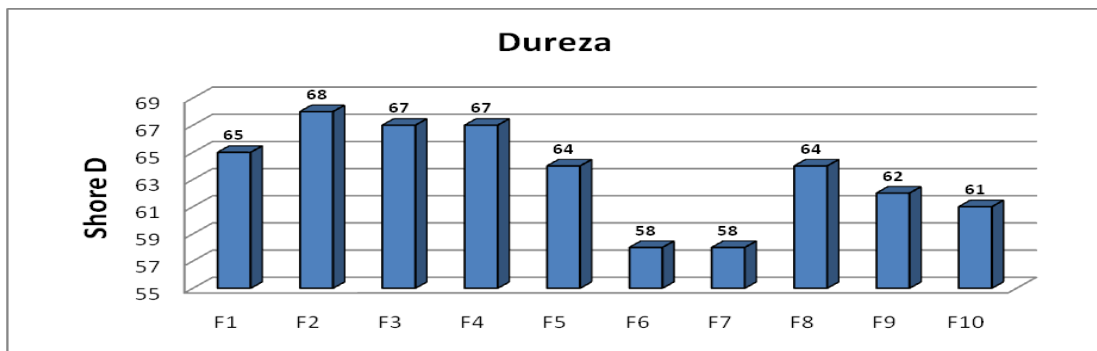


Figura 7. Resistencia a la dureza como función de la concentración de fibra en polimeros reciclados, reforzados con fibra de pino radiata, con y sin aditivos.

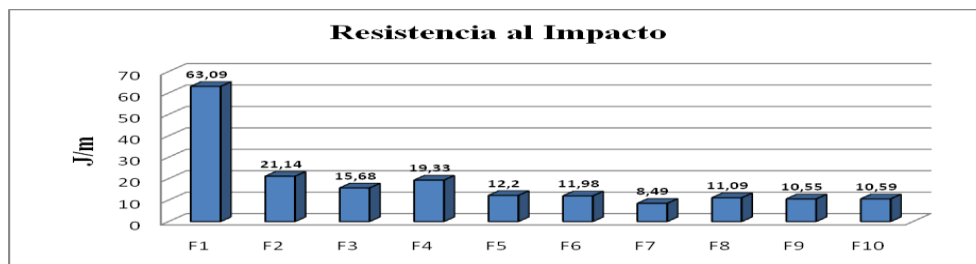


Figura 8. Resistencia al impacto como función de la concentración de fibra en polimeros reciclados, reforzados con fibra de pino radiata, con y sin aditivos.

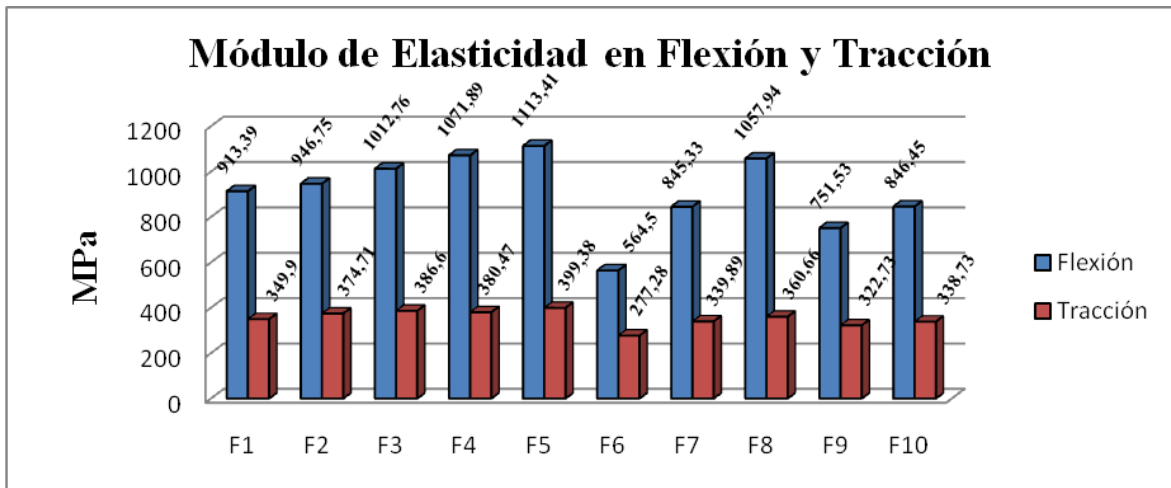


Figura 9. Módulos de elasticidad en flexión y tracción, como función de la concentración de fibra en polimeros reciclados, reforzados con fibra de pino radiata, con y sin aditivos.