

# EFFECTOS DEL CONTENIDO DE HARINA DE CORTEZA Y MADERA DE *PINUS RADIATA* SOBRE LA BIODEGRADACIÓN ACELERADA DE COMPUESTOS MADERA-PLÁSTICO

## EFFECTS OF WOOD AND BARK FLOUR CONTENT OF *PINUS RADIATA* ON THE ACCELERATED DECAY OF WOOD-PLASTIC COMPOSITES

Cristian Moya-Villablanca <sup>1\*</sup>, Rómulo Oses-Pedraza<sup>2</sup>, Hernán Poblete-Wilson<sup>3</sup>, Luis Valenzuela-Hurtado<sup>4</sup>.

### RESUMEN

Se evaluaron distintas formulaciones de compuestos fabricados en base a polietileno de baja densidad reciclado (PER) y harinas tanto de corteza como de madera de *Pinus radiata*, mediante ensayos estandarizados de biodegradación acelerada. Los compuestos tipo Wood Plastic Composites (WPCs) fueron obtenidos mediante moldeo por inyección sin aditivos químicos, a partir de las siguientes mezclas entre PER-harina en distintas proporciones: 100-0%, 80-20%; 60-40% y 40-60%. Los ensayos de biodegradación acelerada fueron realizados de acuerdo a la norma ASTM D-2017, bajo condiciones controladas durante 3 meses, usando dos tipos de hongos degradadores, un hongo de pudrición café (*Gloeophyllum trabeum*) y por un hongo de pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus*). Al término del período de biodegradación se determinó el porcentaje de pérdida de peso de cada tipo de compuesto. Los resultados indicaron que la pérdida de peso de los compuestos aumenta conforme aumenta la proporción de harina en la mezcla, siendo significativamente mayor con el hongo de pudrición café (Gt), más que con el hongo de pudrición blanca (Po). Independientemente del tipo de hongo utilizado, la harina de corteza presentó mayor susceptibilidad a la degradación en comparación con la harina de madera.

**Palabras claves:** Compuestos, biodegradación acelerada, harina de madera y corteza.

### ABSTRACT

Composites of wood and bark of *Pinus radiata*-recycled low polyethylene (RLPE) were submitted to accelerated decay using white and brown rot fungi. These WPCs were obtained by injection molding without chemical additives at proportions: 100-0%, 80-20%, 60-40% and 40-60%. Accelerated decay tests were conducted according to ASTM D-2017-05, using a brown rot fungus (*Gloeophyllum trabeum*) and a white rot fungus (*Pleurotus ostreatus*), during 3 months, under controlled conditions. After that, percentage of weight loss of each type of composite was determined. The results shown that the biodegradation of composites increased with increasing of flour in the mixture being higher in brown rot fungus (Gt) than in white rot fungus (Po) treatment. Bark flour had higher susceptibility to biodegradation in comparison with the wood flour.

**Keywords:** Composites, accelerated decay, white and brown-rot-fungi, bark and wood flours.

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, Magister en Cs. Forestales, Dr. en Ciencias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Laboratorio Silvotecnológico de la madera, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

<sup>2</sup> Biólogo, Magister en Cs. Forestales, Dr. en Ciencias Biológicas, Centros de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), Raúl Bitran s/n Colina del Pino, La Serena. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Serena, Chile.

<sup>3</sup> Ph D., Profesor Titular, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Isla Teja, Valdivia, Chile.

<sup>4</sup> Ph D., Profesor Titular, Facultad de Ciencias Forestales, Laboratorio Silvotecnológico de la madera, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

\* Autor para correspondencia: [cmoya@udec.cl](mailto:cmoya@udec.cl)

Recibido: 17.11.2012. Aceptado: 20.04.2013

## INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos en base a mezclas de termoplásticos reciclados y fibras o harinas vegetales (WPCs) son de creciente interés en el diseño y fabricación de nuevos materiales más amigables con el medio ambiente. Muchas propiedades han sido evaluadas, pero poco se conoce sobre la resistencia a la biodegradación por hongos xilófagos a compuestos fabricados en base a harinas y sin aditivos químicos (English *et al.* 1997, Wolcott *et al.* 1999, Wambua *et al.* 2003). Se sabe, que los termoplásticos son resistentes a la biodegradación por hongos xilófagos, pero el contenido de harina vegetal hace susceptible al compuesto a ser biodegradado (Lange *et al.* 1999, Mankowski *et al.* 2000a y 2000b). Además, se sabe que la madera y la corteza de una misma especie pueden presentar diferente patrón de biodegradación (Mori *et al.* 1997, Blanchette *et al.* 1985, Akhtar *et al.* 1997). La corteza tiende a ser menos degradada que la madera, debido principalmente a la presencia de extraíbles que inhiben la actividad biológica (Youngquist *et al.* 1995, Matuana *et al.* 1997, Ibach *et al.* 2001). Además, la biodegradación de los tejidos vegetales tales como la madera y la corteza, está íntimamente ligada con la capacidad de absorción de agua de estos materiales y con la disponibilidad de sustrato o alimento para los hongos, los que determinan los procesos de colonización y desarrollo de los hongos y su capacidad de degradación (Clemons 2002, Schirp *et al.* 2008, McDonald *et al.* 2009). También, estos hongos xilófagos son específicos según el sustrato a biodegradar. Para el caso de la madera, los hongos xilófagos más comunes son los de pudrición blanca, que degradan preferentemente más fenoles, como la lignina, dejando un residuo blanco correspondiente a la celulosa y parte de hemicelulosas, mientras que los hongos de pudrición café degradan preferentemente carbohidratos, dejando un residuo de color café, correspondiente a lignina modificada (Blanchette *et al.* 1985, Akhtar *et al.* 1997). A pesar de las investigaciones realizadas, se requiere mayor información acerca del comportamiento de compuestos tipo madera-plástico frente a la biodegradación, considerando la incorporación el tipo y la proporciones relativas de harinas de madera y corteza y termoplástico reciclado como principales componentes en una mezcla. Dicha información será de gran relevancia a la hora de futuros diseños y aplicaciones en la industria.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de harinas de corteza o madera de *Pinus radiata* en distintas proporciones sobre la biodegradabilidad de materiales compuestos madera-plástico de baja densidad reciclado (PEr) obtenidas mediante moldeo por inyección.

## METODOLOGÍA

### MATERIALES

*Polietileno.* La matriz termoplástica corresponde a polietileno de baja densidad reciclado (PEr), obtenido en el mercado en forma de pellets de 6,5 mm de largo y 2 mm de diámetro, y con una  $\rho$  de 0,94 g/cm<sup>3</sup> y Melting Point de 120-160°C.

*Harinas.* La harina de corteza y de madera se obtuvo a partir de desechos del aserrío del primer trozo de un árbol de 22 años de la especie *Pinus radiata* D. Don, cosechado en la zona de Constitución, Región del Maule, Chile. La caracterización química de ambos tipos de tejido vegetal se presenta en la tabla 1. Notar que, en general, la madera contiene mayor cantidad de celulosa y lignina total, además, contiene claramente menor cantidad de extraíbles que la corteza de la misma especie en estudio (Berrocal *et al.* 2004).

**Tabla 1.** Composición química de madera y corteza de *Pinus radiata*.

| Corteza                        | % bps <sup>x</sup> | Madera                       | % bps <sup>x</sup> |
|--------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Carbohidratos no celulósicos * | 12-18 <sup>1</sup> | Carbohidratos no celulósicos | 15-20 <sup>1</sup> |
| Celulosa*                      | 30-40              | Celulosa                     | 40-50              |
| Lignina Soluble                | 0.1-0.8            | Lignina Soluble              | 0,2-0,5            |
| Lignina Klason                 | 20-35              | Lignina Klason               | 22-40              |
| Extraíbles                     | 5-12 <sup>2</sup>  | Extraíbles                   | 0-2 <sup>2</sup>   |

<sup>1</sup>glucomananos; <sup>2</sup>Principalmente taninos condensados; \* compuestos de baja masa molecular. <sup>x</sup>base peso seco.

El largo, ancho y esbeltez promedio de las harinas de madera y de corteza se presentan en la tabla 2. Estos tamaños son significativamente diferentes entre ellos, según prueba de comparación de medias de Tukey, para un  $\alpha = 0,05$ . La harina de madera es más pequeña que la harina de corteza, tanto en largo como en ancho, pero es más esbelta.

**Tabla 2.** Tamaños de las harinas de madera y corteza usadas para fabricar los compuestos.

| Corteza                | Madera                 |
|------------------------|------------------------|
| Largo 48 $\mu\text{m}$ | Largo 40 $\mu\text{m}$ |
| Ancho 27 $\mu\text{m}$ | Ancho 13 $\mu\text{m}$ |
| Esbeltez (L/A) 2       | Esbeltez (L/A) 3,4     |

### Equipos para la fabricación de los compuestos

Estación de inyección Po Yuen E 400 con fuerza de cierre de 400 tons y capacidad de inyección máxima de 1,5 kg. Molino de tambor de 4 cuchillos y de 975 rpm marca Wittenheim. Molino de 6 ejes y 12 martillos por eje, y de 3500 rpm marca Wittenheim. Secador de aire caliente por resistencia eléctrica de 100 lt marca Po Yuen.

## MÉTODO

### Obtención de la harina

La corteza y los desechos de madera fueron molidos mediante molinos de cuchillos y de martillos con un 10-12% de contenido de humedad (CH), para obtener tamaños de partícula menores a 0,5 mm (US Standard mesh N° 35). Posteriormente fueron secadas a < 3% de CH y mantenidas en cámara controlada, humedad hasta su procesamiento, a 15% de HR. y 24°C. El largo, ancho y la esbeltez de las harinas fueron determinadas a partir de 30 muestras de cada tipo de harina medidas en microscopio óptico y coordinado al programa Win Cell 2.0.

### Obtención del compuesto

Estos fueron fabricados mediante moldeo por inyección y sin agentes entrecruzantes u otro tipo de aditivos, considerando 7 formulaciones. Tres formulaciones de PEr con 20, 40 y 60% de harina de madera (M20, M40 y M60, respectivamente). Tres formulaciones de PEr con 20, 40 y 60% de harina de corteza (C20, C40 y C60, respectivamente). Además de la muestra testigo fabricada 100% de PEr. Un total de diez muestras para cada formulación fueron fabricadas con un 3% de contenido de humedad, utilizando una temperatura de tornillo de inyección de 190°C en las seis estaciones y una presión máxima de moldeo de 12 MPa (122 kg/cm<sup>2</sup>). Todas las probetas presentaron la misma orientación de las partículas dentro de la matriz, debido a que los contenedores utilizados como muestras fueron obtenidos bajo las mismas condiciones de procesamiento, además, las probetas para la determinación de las propiedades fueron obtenidas de la misma zona de cada contenedor, para anular la posible variabilidad de la mezcla generada durante el proceso de fabricación (Kim *et al.* 2008).

### Biodegradación de los compuestos

La biodegradación se determinó controlando la pérdida de peso de los compuestos sometidos a la acción del hongo degradador, durante 12 semanas y en laboratorio según norma ASTM D 2017-05 (2005). Esta pérdida de peso provee una medida de la susceptibilidad a la biodegradación de los compuestos (Okino *et al.* 1998, Mankowski y Morrel 2000a). Los hongos utilizados fueron un hongo de pudrición blanca (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Quélet) y un hongo de pudrición café (*Gloeophyllum trabeum* (sin. Lenzites trabea) (Pers. Ex. Fr) Murr.). Se utilizaron 3 probetas de cada tipo de compuesto, de 1x1x 0,3 cm, las que fueron puestas en placas petri con contenido de agua conocida, luego fueron inoculadas con hifas de cada tipo de hongo cultivados sobre agar-papa dextrosa (PDA), para ser sometidas a ambiente de 25 °C y 65% de humedad relativa (HR) en estufa para cultivo durante 3 meses. El porcentaje de pérdida de peso (PP%) fue expresada como la diferencia entre el peso anhidro de una muestra sin degradación y el peso anhidro de una muestra biodegradada con respecto al peso anhidro o según la fórmula:

$$PP (\%) = \frac{[PP (\text{muestra anhidra sin degradación}) - PP (\text{muestra degradada})]}{PP (\text{muestra anhidra sin degradación})} \times 100, \text{ según norma ASTM D 2017-05.}$$

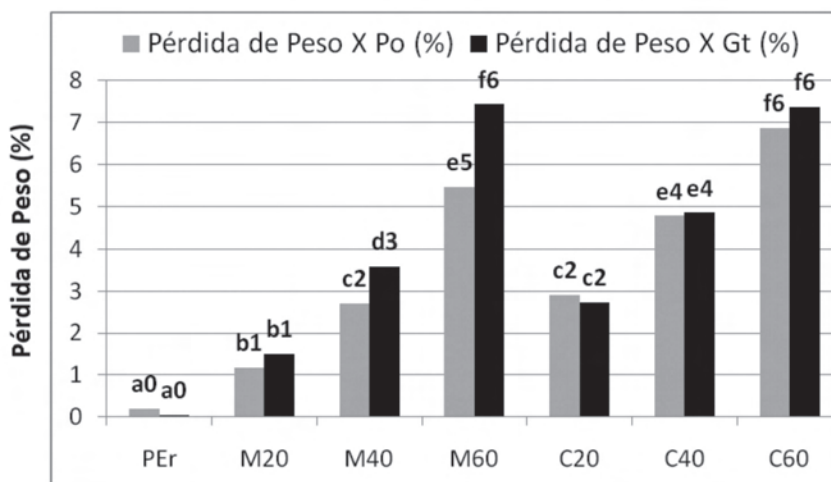
### Análisis Estadístico

Se utilizó prueba de comparación de medias de mínima significancia (LSD) de Fisher (ANOVA de una vía) para determinar diferencias de pérdida de peso de los compuestos por la acción de los hongos. Además, se utilizó ANOVA de tres vías con prueba Tukey (HSD) diseño balanceado, para evaluar la influencia de los factores: tipo de hongo, contenido y tipo de harina y sus interacciones, sobre la pérdida de peso del compuesto.

## RESULTADOS

### Biodegradación de los compuestos

La figura 3, muestra los resultados de la comparación de medias de la pérdida de peso de los compuestos y del PEr producido por la acción de ambos tipos de hongos, según prueba de mínima significancia (LSD) de Fisher. En esta figura, se observa que todos los compuestos presentan mayor pérdida de peso que el PEr, siendo esta última casi nula, menor que 0,06%. Esta diferencia evidencia la acción de los hongos sobre ambos tipos de harinas presentes en los compuestos. También, en esta figura se puede observar que la pérdida de peso de los compuestos aumenta a medida que se incrementa el contenido de ambos tipos de harina, llegando a valores cercanos al 8%. Resultados similares han sido reportados por otros investigadores (Stark 1997, Pendleton *et al.* 2002, Lomelí-Ramírez *et al.* 2009). Además, en esta figura se puede observar que no existe diferencia estadística de la biodegradación de los compuestos fabricados harina de corteza entre ambos tipos de hongos. Mientras que, el hongo Gt tiende a degradar más harina de madera que el hongo Po, sobre todo en los compuestos con 40 y 60% de harina, ver letras diferentes para iguales contenidos de harina. Esta tendencia coincide con la característica de los hongos de pudrición café, como el hongo Gt, quienes son más específicos para degradar madera de coníferas que los hongos de pudrición blanca, como el hongo Po (Blanchette *et al.* 1997, Akhtar *et al.* 1998). Sin embargo, llama la atención que los compuestos con harina de corteza tienden a ser más degradados que los compuestos fabricados con harina de madera, por ambos tipos de hongos, considerando que la corteza naturalmente contiene mayor cantidad de extraíbles (Tabla 1), los que podrían inhibir el crecimiento de estos hongos (Mori *et al.* 1997, Venäläinen *et al.* 2004, Ibach *et al.* 2001). Esto puede deberse a la desnaturalización térmica que ocurre a las temperaturas utilizadas para la fabricación de este tipo de compuestos (Sjöström 1993, Hon y Shiraishi 2000).



**Figura 3.** Pérdida de peso de los compuestos y del PEr, según prueba (LSD) de Fisher.

(Gt) hongo de pudrición café, (Po) hongo de pudrición blanca.

Letras y números diferentes en cada barra indican diferencias significativas ( $\alpha=0,05$ ).

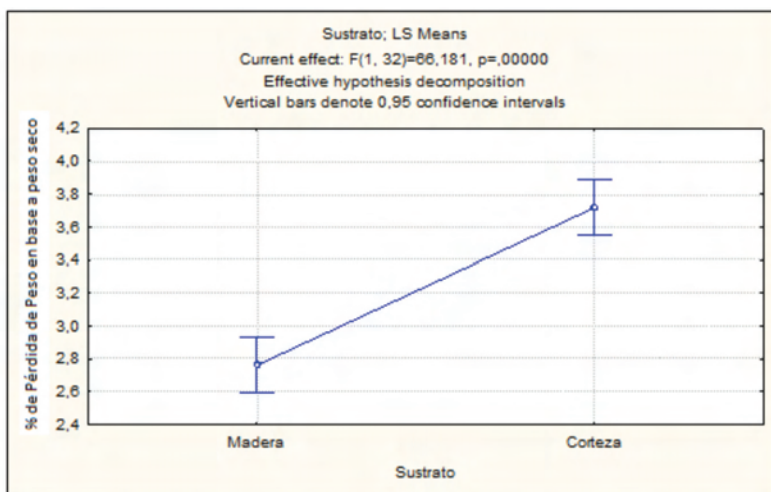
### Factores que afectan la Biodegradación de los compuestos

En tabla 3, se presentan los resultados de la pérdida de peso de los compuestos y los factores e interacciones significativos, según el ANOVA de tres vías aplicado a los valores promedios. Para este caso, los factores que influyen significativamente en la pérdida de peso de los compuestos son: tipo de hongo, tipo de harina, contenido de harina, interacción tipo de hongo x tipo de harina, interacción tipo de hongo x contenido de harina, interacción tipo de harina x contenido de harina. Mientras que de las figuras 4 a 9, se presentan los resultados de la pérdida de peso de los compuestos en función de los factores determinados significativos según prueba Tukey HDS ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 3.** Estadísticos ANOVA de tres vías sobre la pérdida de peso de los compuestos sometidos a biodegradación por ambos tipos de hongos.

| Fuente                               | SS      | g.l. | MS       | F       | p      |
|--------------------------------------|---------|------|----------|---------|--------|
| Intercepto                           | 504,069 | 1    | 504,0695 | 3040,57 | 0,0000 |
| Tipo de hongo                        | 1,9811  | 1    | 1,9811   | 11,950  | 0,0015 |
| Tipo de harina                       | 10,9715 | 1    | 10,9715  | 66,181  | 0,0000 |
| Contenido de harina                  | 289,382 | 3    | 96,4610  | 581,857 | 0,0000 |
| Tipo de hongo x Tipo de harina       | 1,4175  | 1    | 1,4175   | 8,550   | 0,0062 |
| Tipo de hongo x Contenido de harina  | 3,4590  | 3    | 1,1530   | 6,955   | 0,0009 |
| Tipo de harina x Contenido de harina | 5,2203  | 3    | 1,7401   | 10,496  | 0,0000 |
| Tipo de hongo x Tipo de harina x     | 0,7813  | 3    | 0,2604   | 1,571   | 0,2155 |
| Error                                | 5,3050  | 32   | 0,1658   |         |        |

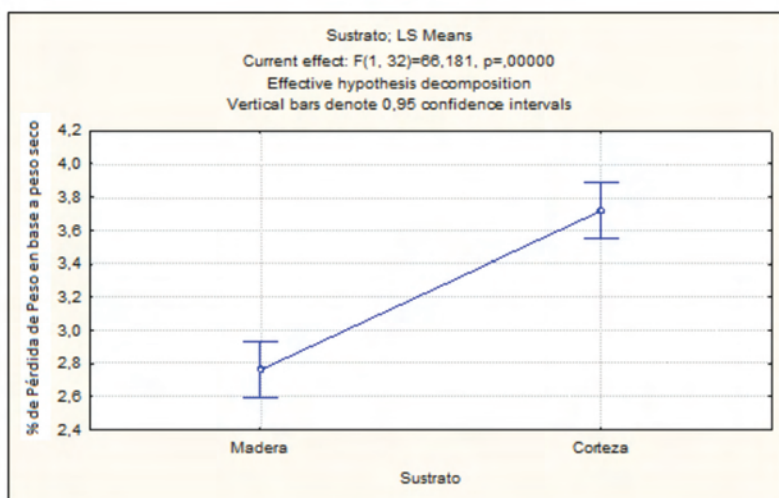
La influencia del tipo de hongo sobre la pérdida de peso de los compuestos, se muestra en la figura 4. En esta figura se observa que el hongo de pudrición café (Gt) degrada más ambos tipos de harina que el hongo de pudrición blanca (Po). Estos resultados coinciden con la preferencia del hongo Gt a degradar especies coníferas, como la especie utilizada en estos ensayos. La mayor eficiencia del hongo Gt para degradar harina de conífera que el hongo Po, está relacionada principalmente con su mecanismo de degradación, diseñado para degradar preferentemente carbohidratos (Blanchette *et al.* 1997, Akhtar *et al.* 1998, Mankowski y Morrell 2000b). Sin embargo, la corteza es degradada de forma similar por ambos tipos de hongos (Figura 3).



**Figura 4.** Pérdida de peso según tipo de hongo en el compuesto.

Tukey HSD  $\alpha = 0,05$ .

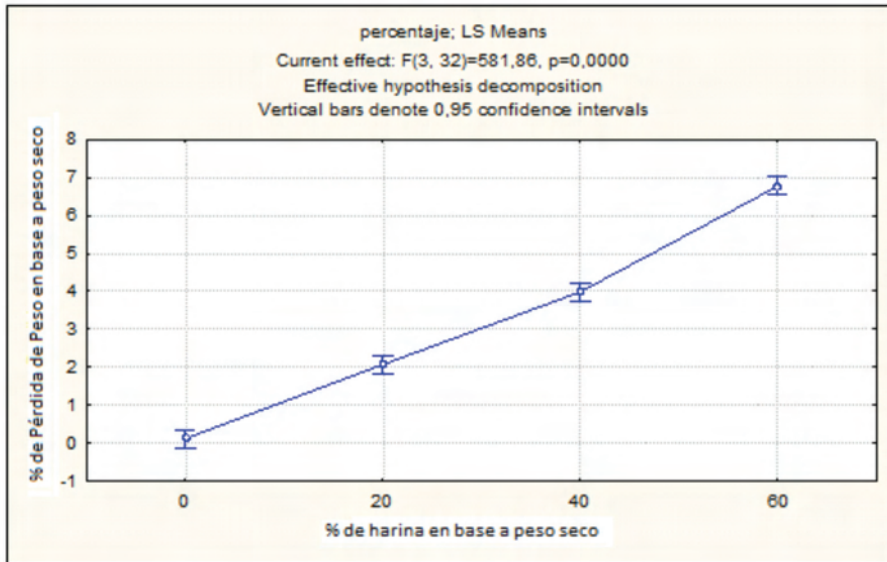
Para el caso de la influencia del tipo de harina presente en el compuesto sobre la pérdida de peso del compuesto por la acción de ambos tipos de hongos, la figura 5 muestra que ambos hongos degradan más harina de corteza que harina de madera, de forma similar a lo observado en la figura 4. Esta diferente degradación según el tipo de harina, podría ser explicada por la diferencia química entre la corteza y la madera. (Tabla 1). La corteza presenta mayor cantidad de carbohidratos de menor peso molecular que la madera, tales como azúcares simples, oligosacáridos ramificados y hemicelulosas de cadenas cortas (Sjöström 1993, Hon y Shiraishi 2000, Berrocal *et al.* 2004). Estos tipos de carbohidratos son los que más rápidamente pueden ser metabolizados por todos los hongos xilófagos durante las primeras etapas de colonización. Aunque también, este resultado puede estar influenciado por la mayor cantidad de lignina de menor masa molecular y menos condensada presente en las cortezas, comparadas con la lignina presente en las maderas (Tabla 1). Esta lignina es degradada preferentemente por hongos de pudrición blanca, considerando que este tipo de hongo degrada preferentemente latifoliadas (Blanchette *et al.* 1997, Morrell *et al.* 2006, Fabiyi *et al.* 2011).



**Figura 5.** Pérdida de peso según tipo de harina.

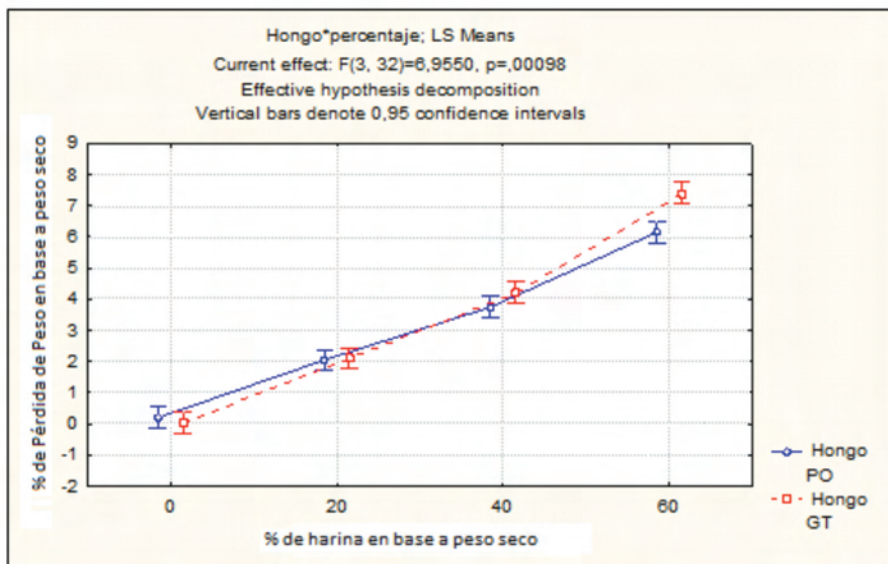
Tukey HSD  $\alpha = 0,05$ .

Los resultados de la pérdida de peso de los compuestos con diferente contenido de harina, por la acción de ambos tipos de hongos se muestran en la figura 6. Se observa que la pérdida de peso aumenta con el incremento de harina en todos los compuestos, producida por ambos tipos de hongos. Estos resultados son similares a los observados en la figura 4 y son similares a los reportados por otros investigadores (Ibach *et al.* 2001, Niemmenmaa 2008, Ngueho *et al.* 2010). Este comportamiento puede ser atribuido a la mayor cantidad de material orgánico disponible para la colonización y desarrollo de este tipo de hongos (Pendleton *et al.* 2002, Lomelí-Ramírez *et al.* 2009).



**Figura 6.** Diferencias de pérdida de peso según contenido de harina.  
Tukey HSD  $\alpha = 0,05$ .

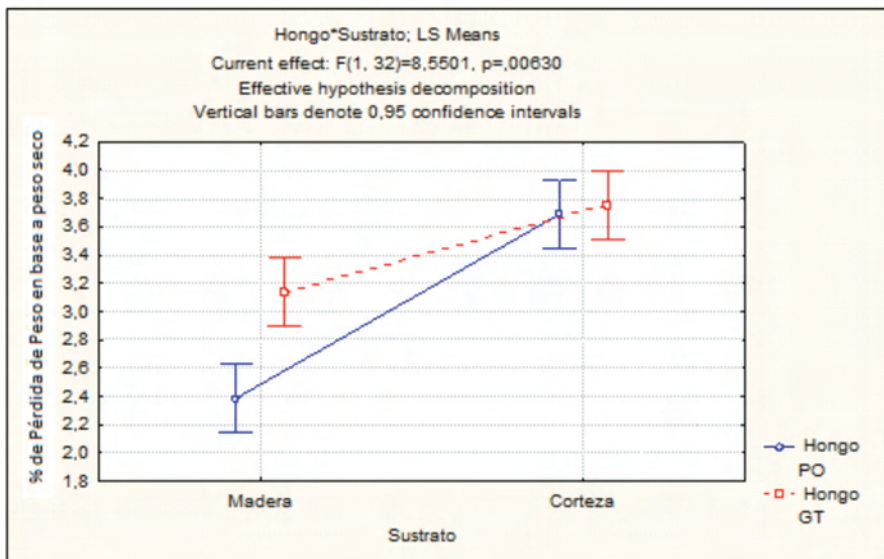
La pérdida de peso aumenta con el incremento de harina, por la acción de ambos tipos de hongos (Figura 7). Sin embargo, se advierte que el hongo Gt degrada más harina que el hongo Po, sólo en los compuestos con 60% de harina.



**Figura 7.** Pérdida de peso según tipo de hongo x contenido de harina.  
Tukey HSD  $\alpha = 0,05$ .

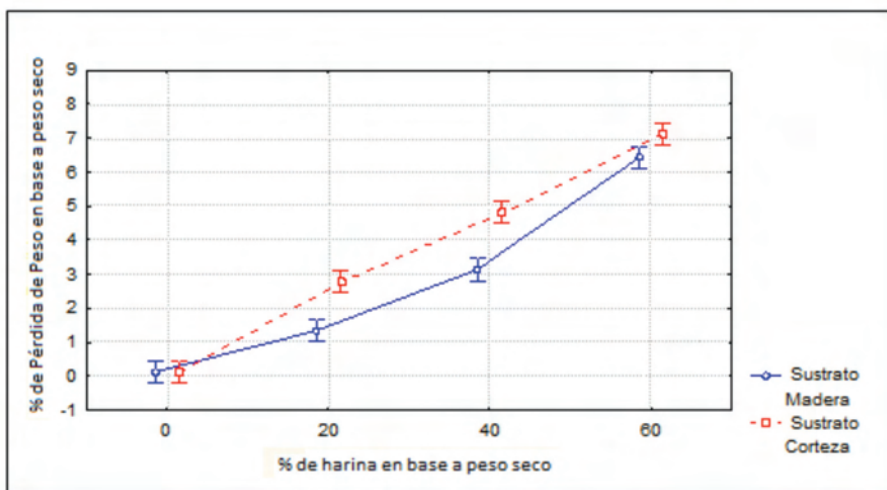
La pérdida de peso de los compuestos según las interacciones tipo de hongo y contenido de harina se muestra en la figura 8. Se observa que los compuestos con harina de corteza son más degradados que los compuestos con harina de madera, por ambos tipos de hongos, coincidiendo con los resultados anteriormente discutidos que se muestran en la figura 3 y 5.





**Figura 8.** Pérdida de peso según tipo de hongo x tipo de harina.  
Tukey HSD  $\alpha = 0,05$

La pérdida de peso y las interacciones entre tipo de sustrato y contenido de harina se muestra en la figura 9. Se advierte que la pérdida de peso es mayor con el incremento de harina. Sin embargo, esta pérdida de peso es mayor en los compuestos con 40 y 60% de harina de corteza, comparado con los compuestos con 40 y 60% de harina de madera. Además, los compuestos con 20-60% de harina no presentan diferencias en su biodegradación. Estos resultados indican que el contenido de harina afecta la biodegradación de los compuestos.



**Figura 9.** Pérdida de peso según tipo de harina x contenido de harina.  
Tukey HSD  $\alpha = 0,05$ .

## CONCLUSIONES

Todos los compuestos fueron susceptibles de ser biodegradados por ambos tipos de hongos.

La degradación fue mayor en los compuestos con mayor contenido de harina, independiente del tipo del tipo de hongo utilizado.

La harina de corteza fue más susceptible de ser degradada por ambos tipos de hongos que la harina de madera.

Ambos tipos de hongos degradan de forma similar la harina de corteza. Sin embargo, la harina de madera es más biodegradada por el hongo de pudrición café que el hongo de pudrición blanca.

## BIBLIOGRAFÍA

**ASTM. American Standard Test Methods. 2005.** Standard Test Method of Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance of Woods. ASTM D-2017-05. Book of Standards Volume: 04.10.

**Akhtar, M.; Blanchette, R.; Kirk, T.K. 1997.** Fungal Delignification and Biomechanical Pulping of wood. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 57: 159-195.

**Akhtar, M.; Blanchette, R.; Myers, G.; Kirk, T.K. 1998.** An overview of Biomechanical Pulping Research. *Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry*, edited by Raymond A. Young and Masood Akhtar ISBN 0-471 -15770-8 J. W. & Sons, Inc.

**Berrocal, A.; Freer, J.; Baeza, J.; Rodríguez, J.; Espinosa, B. 2004.** Relación entre edad del árbol y su composición química en *Pinus radiata* D. Don crecido en Chile y su importancia para la producción de bioetanol. Kurú: *Revista Forestal* 1(1):1-8.

**Blanchette, R.; Otjen, L.; Efland, M.J.; Eslyn, W.E. 1985.** Changes in structural and chemical components of wood delignified by fungi. *Wood Science Technology* 19:35-46.

**Blanchette, R.; Krueger, E.; Haight, J.; Akhtar, M.; Akin, D. 1997.** Cell wall alterations in loblolly pine wood decayed by the white-rot fungus, *Ceriporiopsis subvermispora*. *Journal of Technology* 53:203-213.

**Clemons, C. 2002.** Wood-plastics composites in the United States. *Forest Products Journal* 52 (6): 10-18.

**English, B.; Stark, N.; Clemons, C. 1997.** Weight Reduction: Wood versus Mineral Fillers in Polypropylene. *Fourth International Conference on Woodfibre-Plastic Composites*. May 12-14, Madison, Wisconsin, USA.

**Fabiyi, J.; McDonald, A.; Morrell, J.; Freitag, C. 2011.** Effects of wood species on durability and chemical changes of fungal decayed wood plastic composites. *Composites: Part A* 42:501-510.

**Hon, D.; Shiraishi, N. 2000.** *Wood and Cellulosic Chemistry*, 2<sup>da</sup> Ed. CRC Press 8 Nov.: 914.

**Ibach, R.; Rowell, R.; Lange, S.; Schumann, R. 2001.** Effect of Wet-Dry Cycling on the Decay Properties of Aspen Fiber High-Density Polypropylene Composites. In *The Sixth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, May 15-16, The Madison Concourse Hotel Madison, Wisconsin.

**Kim, S.; Moon, J.; Kim, G.; Ha, Ch., 2008.** Mech. Prop. of PP/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. *Polymer Testing* 27: 801-806.

**Lange, S.; Rowell, R. 1999.** Weathering performance of aspen-polypropylene composites. *Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*. The Madison concourse Hotel Madison, Wisconsin. 317p.

**Lomelí-Ramírez, M.G.; Ochoa-Ruiz, H.; Fuentes-Talavera, F.J.; García-Enriquez, S.; Cerpa-Gallegos, M.A.; Silva-Guzmán, J.A. 2009.** Evaluation of accelerated decay of wood plastic composites by Xylophagus fungi. *International Biodet & Biodegradation* 63: 1030-1035

**Mankowski, M.; Morrell, J.J. 2000a.** Patterns of fungal attack in wood-plastic composites following exposure in a soil block test. *Wood and Fiber Science* 32(3): 340-345.

**Mankowski, M.; Morrell, J. 2000b.** Patterns of fungal attack in composites wood. *Fiber Science* 32(3): 345-367.

**Matuana L.; Park Ch.; Balatinecz J., 1997.** Processing and Cell Morphology Relationships for Microcellular Foamed PVC/Wood-Fiber Composites. *Polymer Engineer and Science* 37(7): 1137-1147.

**McDonald, A.; Fabiyi, J.; Morrell, J.; Freitag, C. 2009.** Effect of wood species on the weathering and soil performance of wood plastic composites. In *Proceeding of the 10<sup>th</sup> International Conference on Wood and Biofiber-Plastic. Composites, Madison, WI, May 11-12.* pp. 84-89.

**Mori, M.; Aoyama, M.; Doi, S. 1997.** Antifungal constituents in the bark of *Magnolia obovata* Thunb. *Holz als Roh- und Werkstoff* 55 (4): 275-278.

**Morrell, J.; Stark, N; Pendleton, D.; McDonald, A. 2006.** Durability of wood plastic composites. *Wood Design Focus* 16(3): 7-10.

**Ngueho, M.; Koubaa, A.; Cloutier, A.; Soulounganga, P.; Wolcott M. 2010.** Effect of bark fiber content and size on the mechanical properties of bark/HDPE. *Composites: Part A* 41: 131-137.

**Niemmenmaa, O. 2008.** Monitoring of Fungal Growth and Degradation of Wood. To be presented, with the permission of the *Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki*, for public criticism in the Auditorium 1041 at Viikki Biocenter, Helsinki. 73p.

**Okino, E.; Rowell, R.; Santana, M.; De Souza, M.R. 1998.** Decay of chemically modified pine and eucalyptus flake boards exposed to white- and brown-rot fungi. *Cultural Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science* 50(1).

**Pendleton, D.E.; Hoffard, T.A.; Adcock, T.; Woodward, B.; Wolcott, M.P. 2002.** Durability of and extruded HDPE / wood composite. *Forest Products Journal* 56(6): 21-27.

**Schirp, A.; Ibach, R.; Pendleton, D.; Wolcott, M. 2008.** Biological Degradation of Wood-Plastic Composites (WPC) and Strategies for Improving the Resistance of WPC against Biological Decay. *American Chemical Society*, Schultz, Miltz, Freeman Ed., Washington, DC, 1270p.

**Sjöström, E. 1993.** *Wood Chemistry*. Academic Press, London, England: 17-378.

**Stark, N. 1997.** Effect of Species and Particle Size on Properties of Wood-Flour-Filled Polypropylene Composites. *Proceedings of Functional Fillers*, December 8-10, Le Meridian at Coronado, San Diego, California, 70p.

**Stark, N.; Gardner, D. 2008.** *Outdoor durability of wood-polymer composites in Wood-polymer composites* Ed. Oksman y Sain, Woodhead Publ. Ld., England CRC Press, 1244p.

**Venäläinen, M.; Harju, A.; Saranpa, P.; Kainulainen, P.; Tiitta, M.; Velling, P. 2004.** The concentration of phenolics in brown-rot decay resistant and susceptible Scots pine heartwood. *Wood Science and Technology* 38: 109-118.

**Wambua, P.; Ivens, J.; Verpoest, I. 2003.** Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?. *Composites Science and Technology* 63:1259-1264.

**Wolcott, M.; Englund, K. 1999.** A Technology Review of Wood Plastic Composites. In Proceeding 33<sup>th</sup> *International Particleboard Composite Material Symposium*. Abril 13-15, 1999, 96p.

**Youngquist J.; Myers G. E.; Muehl J. H.; Krzysik A. M.; Clemons C. M., 1995.** Composites from Recycled Wood and Plastics. *EPA Project Summary*, Engineering Laboratory Cincinnati, OH 45268 Research and Development EPA/600/SR95/003 March, 122p.