

“La fibra de corteza de *Eucalyptus nitens* y su aplicación como refuerzo en biomateriales termoplásticos”

Freddy Muñoz A*.¹⁻² fmunoz@tec.ac.cr

Paulina Valenzuela C.³ nvalenzu@ubiobio.cl

Aldo Ballerini A.⁴ aballeri@ubiobio.cl

William Gacitúa E.⁴ wgacitua@ubiobio.cl

¹ Profesor Adjunto, M.Sc. Escuela de Ingeniería Forestal. Tecnológico de Costa Rica, Cartago-COSTA RICA

² Dr. (c). Ciencias e Industrias de la Madera. DIMAD. Universidad del Bío-Bío, Concepción-CHILE * autor

³ M.Sc. Centro de Biomateriales & Nanotecnología. Universidad del Bío-Bío, Concepción-CHILE

⁴ Profesor Asociado, Ph.D. Depto. Ing. en Maderas. Universidad del Bío-Bío, Concepción-CHILE



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por **5** años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



- **Introducción**
- **Metodología & Resultados**
- **Conclusión general**
- **Referencias**
- **Agradecimientos**



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por **5** años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



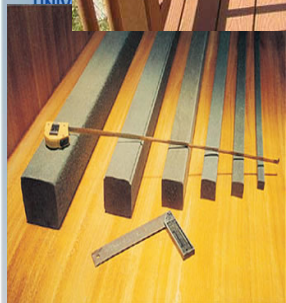
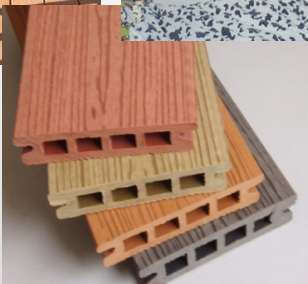
Materiales compuestos (MC)

Crecimiento importante en EEUU, Europa y AL materiales alternativos e innovadores.

Motivado al estudio de compatibilidad y uso de fibras naturales como refuerzo en MC.

Generando nuevos materiales con ciertas características y aplicabilidad.

Caracterizar la fibra reforzante



Nabi y Jog (1999)
Ballerini *et al.* (2008)
Gacitúa y Wolcott (2009)

VIII región consume
~ 7.6 millones m³/año de madera en rollo del
género *Eucalyptus*

~ 3 millones m³ *E. nitens* (39.5%)
(INFOR, 2008)

9.3 % corteza (Geldres et al., 2006)
~ 279 mil m³/año de corteza



Foto: F. Muñoz 2011

¿nueva alternativa
de uso para la corteza
de *Eucalyptus nitens*?

- ✓ Uso clásico: energía
- ✓ Redefinir uso residuos
Velásquez (2006)
- ✓ Material lignocelulósico
- ✓ Espesor considerable
- ✓ Recurso renovable
- ✓ Valor agregado
- ✓ Aprovechamiento recurso forestal
- ✓ Adhesión corteza/madera
Einspahr et al. (1984)

Alternativa de nuevo
producto I+D
3^{era} especie



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Caracterización corteza *E. nitens* (Muñoz et al. 2013)

Espesor, volumen y densidad corteza, l_f , d_f , razón l_f/d_f

- ❑ Procedencia: Región Bío-Bío plantaciones 12 años Forestal Mininco S.A. (Fundo Rucamanqui)
- ❑ 2 sitios x 6 familias x 7 alturas de fuste x 2 árboles (168 rodela)



Sitio Yungay



Sitio Mulchén

Fotos: F. Muñoz (2011)

Figura 2. Muestreo de rodela con corteza de *E. nitens*



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Caracterización corteza *E. nitens* Anatomía y morfología

- Macerado de astillas (Jane, 1970)
- 1680 fibras para diámetro y largo de fibra Jorge *et al.* (2000) e Irgatúa *et al.* (2003)

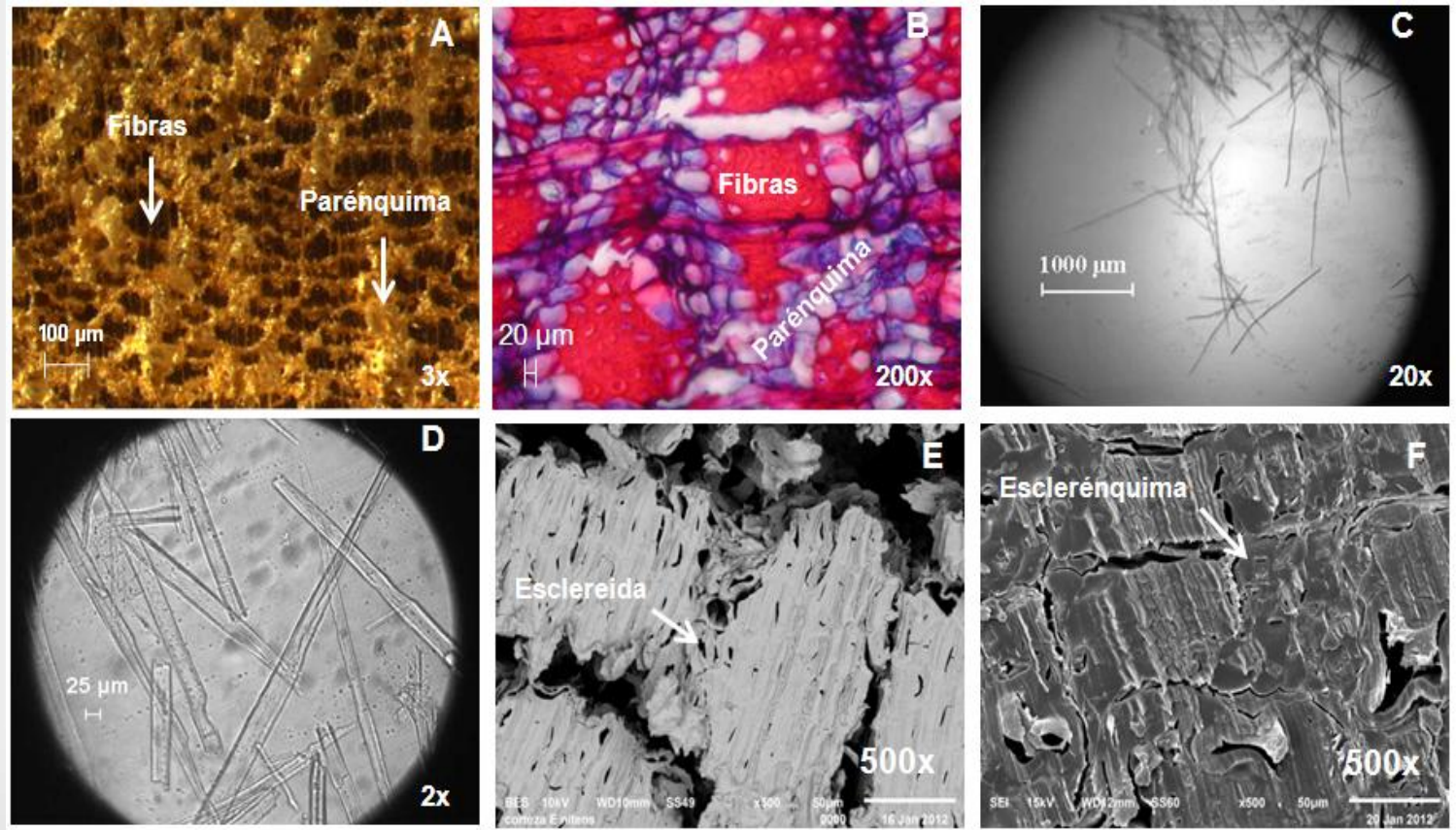


Figura 1. Macro y microfotografías de la estructura anatómica y morfología de la corteza de *Eucalyptus nitens*: **A y B.** Plano transversal. **C.** Largo fibra. **D.** Diámetro fibra. **E.** Microscopía electrónica (SEM) sin resina epóxica. **F.** Microscopía electrónica (SEM) con resina epóxica, llenando los espacios vacíos de la estructura celular de la corteza.



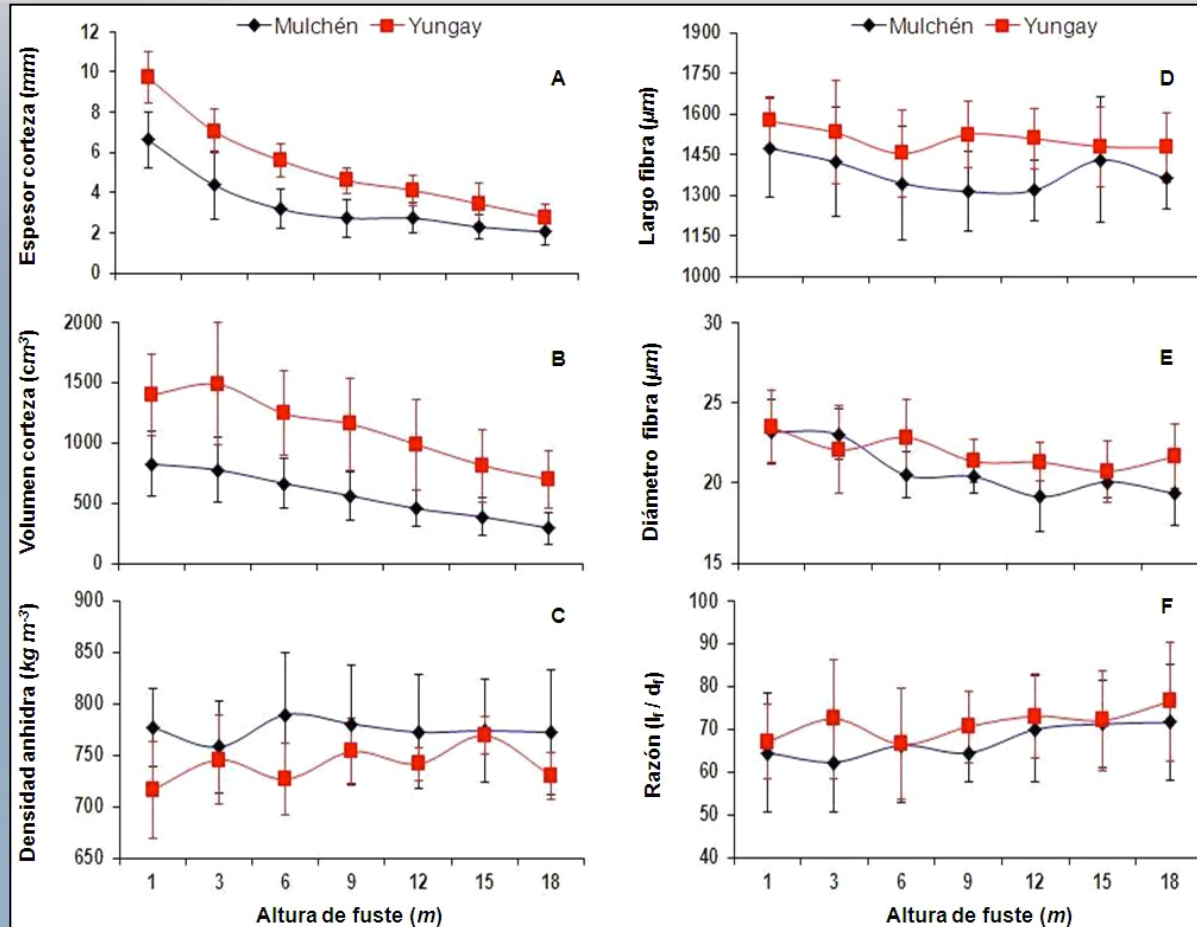
UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Metodología & resultados



Efectos significativos

Sitio (E , V , D_o , l_f y d_f)

Familia (todos)

Altura (E , V y d_f)



Figura 3. Curvas de tendencia para corteza de *E. nitens*

Madera *E. nitens*

Kibblewhite et al. (2000)

15-16 años

l_f promedio: 860 μm

d_f promedio: 13.2 μm

Razón l_f/d_f = 65.2

Rozas (2002)

10-11 años

D_o = 542 kg/m^3

Parámetro corteza <i>E. nitens</i>	promedio
Espesor (mm)	4.4
Volumen (cm^3)	838
Densidad anhidra (Kg/m^3)	757
Largo fibra (μm)	1443
Diámetro fibra (μm)	21.7
Razón l_f/d_f	69.1

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Caracterización corteza *E. nitens*

Ensayo TGA

- Equipo TGA Q-50 (CIPA)
- 3 tamaños de partícula, 3-6 mg, 25-600°C, 10°C/min (Yemele *et al.*, 2010)
- HDPE IVOREX 7000F (pellet)

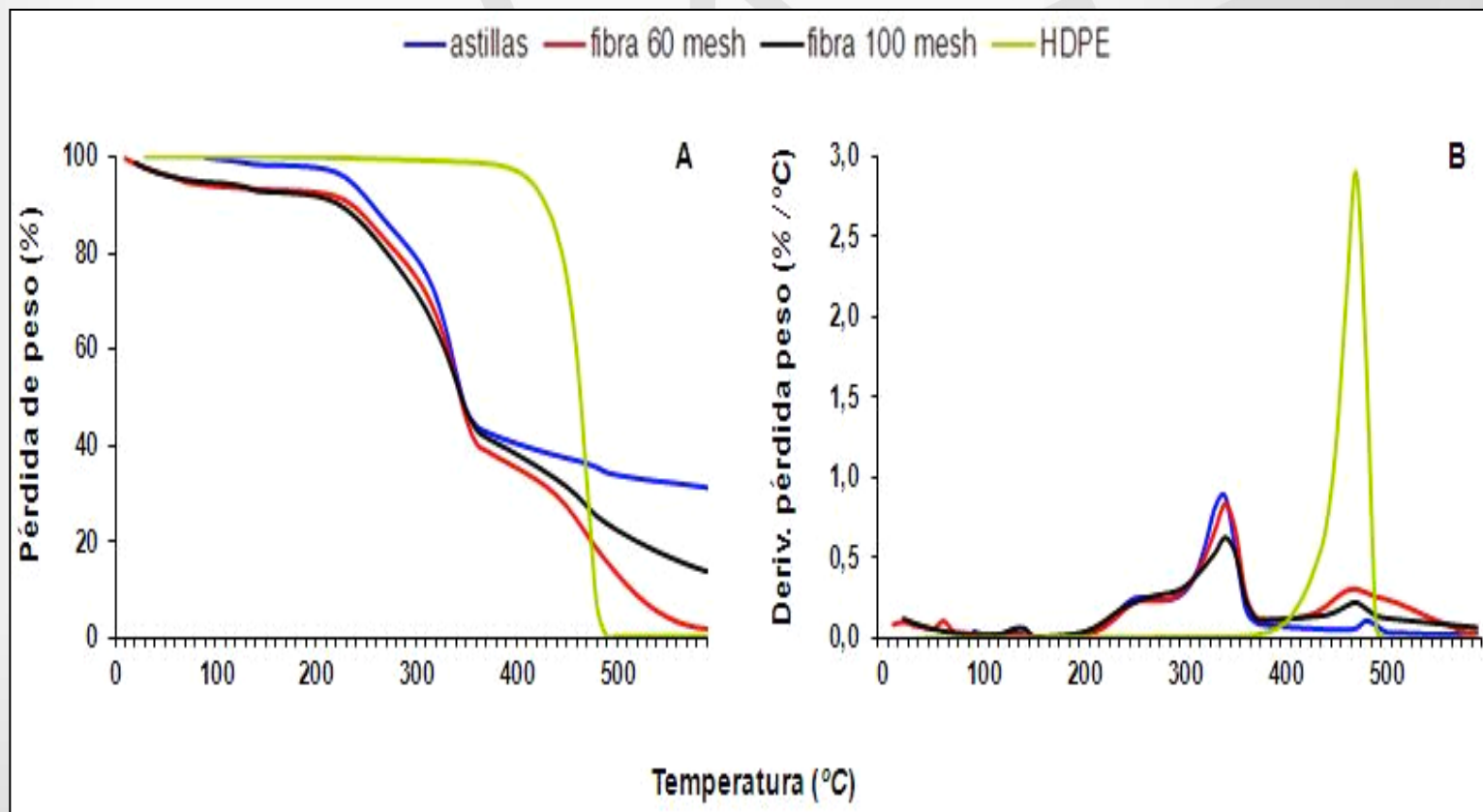


Figura 4. A. Curva TG y B. curva DTG para fibras de corteza *E. nitens*



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Caracterización corteza *E. nitens*

Ensayos nanoindentación (Muñoz et al., 2012)

- TribolIndenter HYSITRON TI-900
- 2 sitios 2 familias
- Dureza (H), modulo elástico (E) y razón ductilidad (E/H)

650
nano-indentaciones

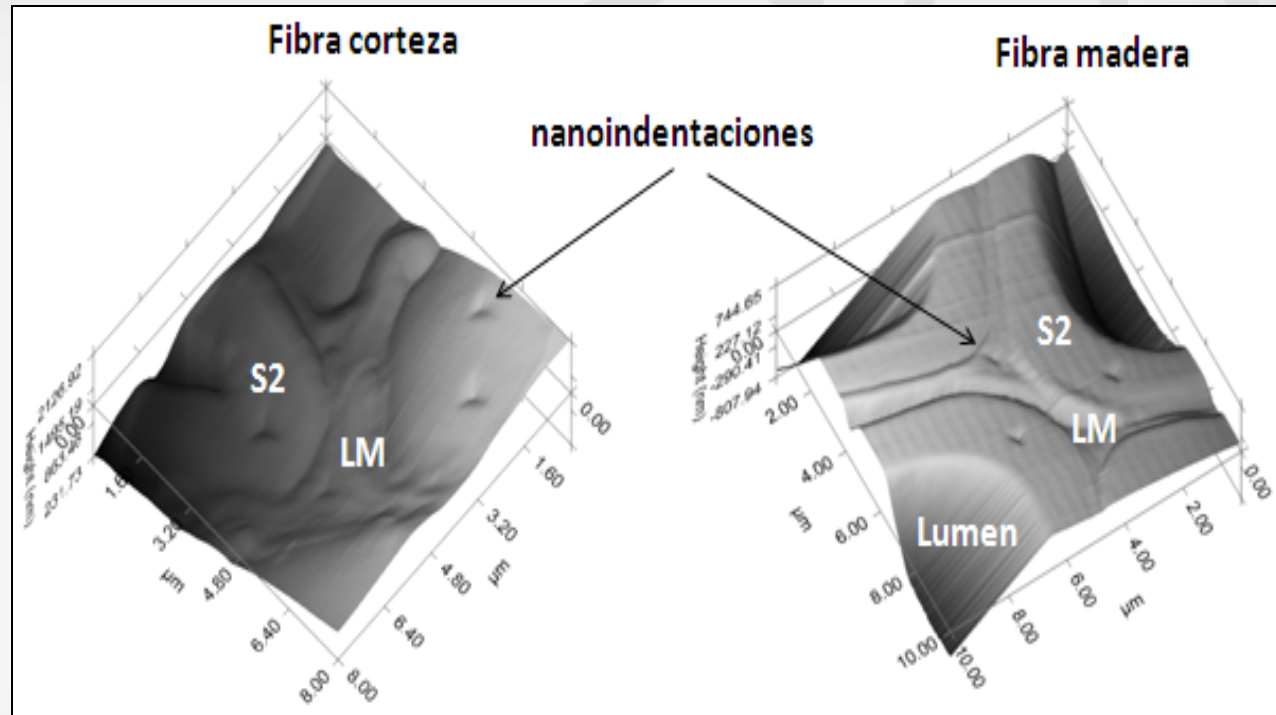


Figura 5. Imagen 3D de nanoindentaciones en *ML* y capa *S2* fibras de madera y corteza *E. nitens*

Corteza						Madera					
H (GPa)		E (GPa)		E/H		H (GPa)		E (GPa)		E/H	
<i>S2</i>	<i>ML</i>	<i>S2</i>	<i>ML</i>	<i>S2</i>	<i>ML</i>	<i>S2</i>	<i>ML</i>	<i>S2</i>	<i>ML</i>	<i>S2</i>	<i>ML</i>
0.26	0.33	10.81	7.10	43.10	21.63	0.31	0.34	12.52	7.05	41.46	21.15

Efectos significativos:

Sitio (H_{S2} E_{ML} H_{ML})

Tipo fibra (E_{S2} H_{S2})

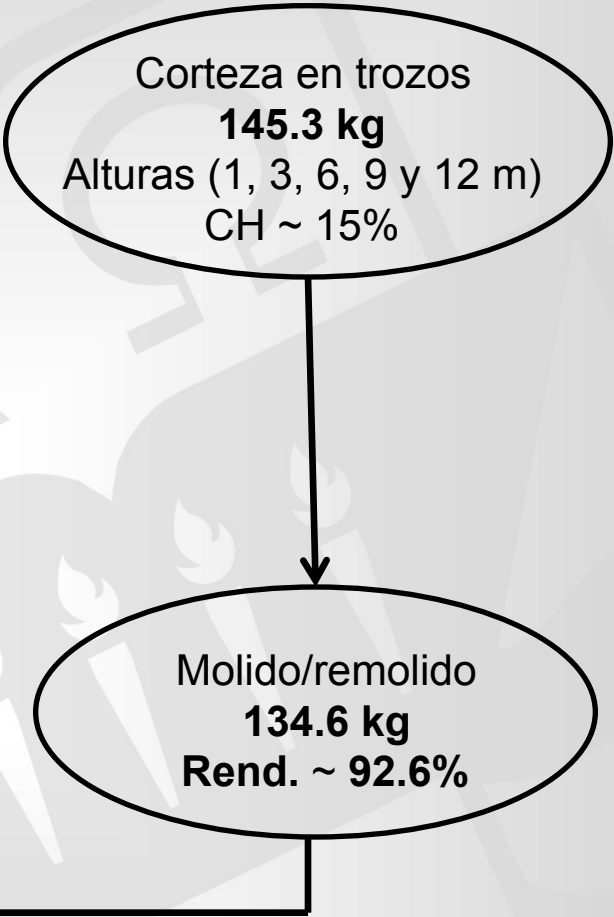
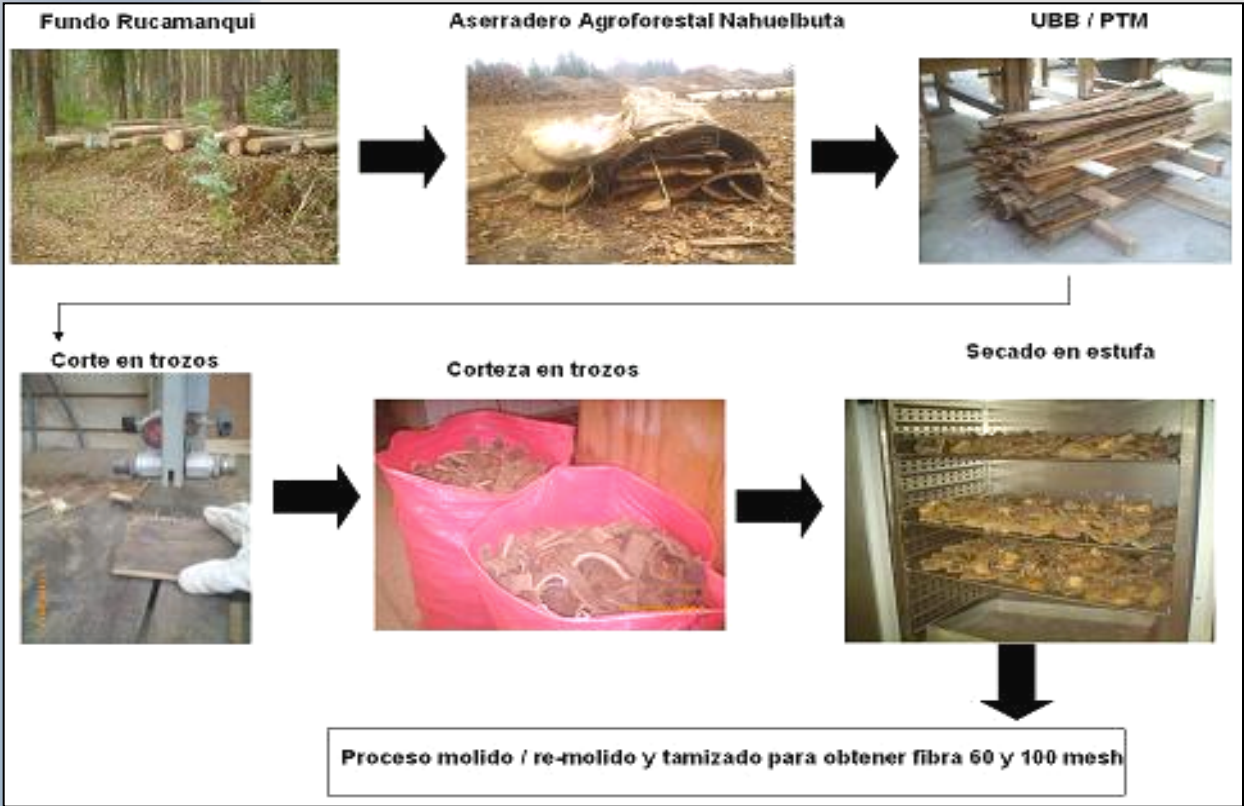


UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio





Proceso tamizado

Finos < 100 mesh	100 mesh	60 mesh	≥ 40 mesh	total
35.4	36.2	32.6	13.4	117.6 kg
24.4 %	25.0 %	22.4 %	9.2 %	81.0%

Material para extrusión

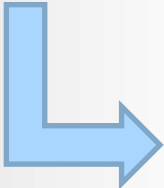
Corteza <i>E. nitens</i>	
100 mesh	60 mesh
36.2 %	32.6 %
68,8 kg (47.4%)	

Proceso de extrusión

Metodología & resultados



Fibra corteza + HDPE F00952



Extrusora doble tornillo
MILACRON TC-35
T °C= 170-180 / rpm= 4



Perfiles rectangulares de biomaterial compuesto

Compuesto	Proporción 70/30 HDPE/fibra		Agente acople	Lubricante	Total batch
	HDPE (kg)	fibra seca (kg)	(%)	(%)	(kg)
C1	3,50	1,50	0,00	0,00	5,00
C2	3,50	1,50	5,00	2,50	5,00
Compuesto	Proporción 60/40 HDPE/fibra		Agente acople	Lubricante	Total batch
	HDPE (kg)	fibra seca (kg)	(%)	(%)	(kg)
C3	3,00	2,00	0,00	0,00	5,00
C4	3,00	2,00	5,00	2,50	5,00

Struktol TPW 104 (lubricante) y Licocene PE MA 4351 TP (agente acoplante)



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

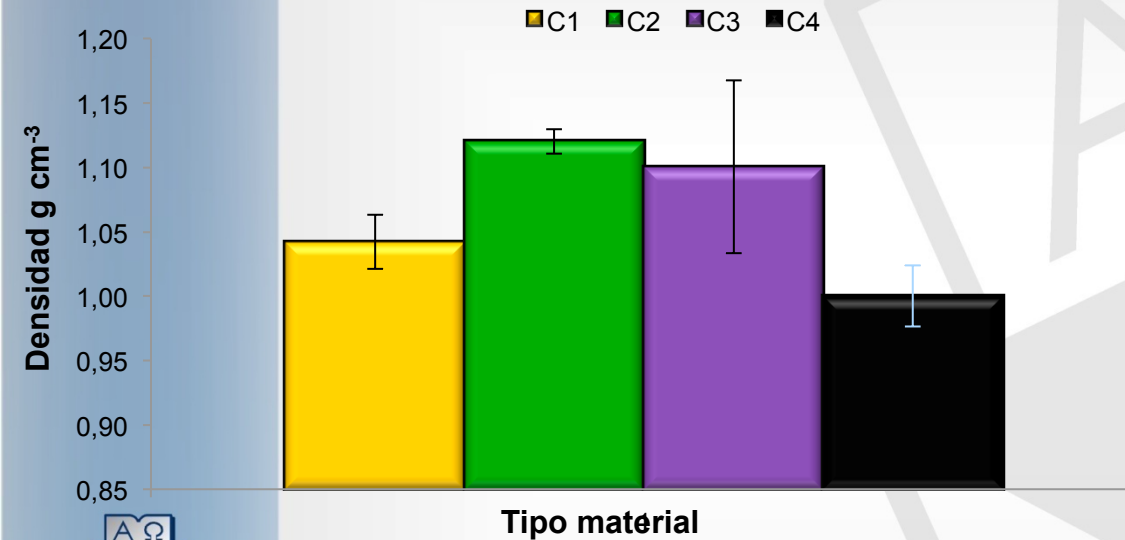
- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Algunas propiedades

Metodología & resultados

Determinación de la densidad para los diferentes materiales compuestos (ASTM D792-00)



1.12 > 1.10 > 1.09 > 1.04 g/cm³
C2 C3 C4 C1

1.09 g/cm³



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por **5** años
2009/2014

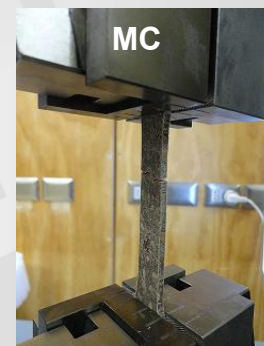
- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio

Chile
Comisión Nacional
de Acreditación

Ensayo de tensión
(ASTM D638-00)

Módulo elástico en tensión (E_t) promedio para los distintos materiales ensayados ^(a)

Tipo material	E_t (GPa)	Fibra corteza	Tamaño fibra (mesh)	Contenido corteza (%)	Referencia
C1	0.917	<i>E. nitens</i>	60-100	30	(a)
C2	0.982	<i>E. nitens</i>	60-100	30	(a)
C3	0.976	<i>E. nitens</i>	60-100	40	(a)
C4	1.343	<i>E. nitens</i>	60-100	40	(a)
BSB	1.989	Spruce	60-80	50	Yemele <i>et al.</i> (2010)
BSB	2.352	Spruce	60-80	60	Yemele <i>et al.</i> (2010)
TAB	1.720	Aspen	60-80	50	Yemele <i>et al.</i> (2010)
TAB	1.722	Aspen	60-80	60	Yemele <i>et al.</i> (2010)
Madera <i>E. nitens</i>	2.657	(-)	(-)	(-)	(a)
HDPE	1.10	(-)	(-)	(-)	(a)
HDPE	1.15 –1.19	(-)	(-)	(-)	Klapperich <i>et al.</i> (2001) Moreno (2012)



(a) Zwick/Roell Z020 y software testXpert ®II V3.2

60 mesh= 0.250 mm= 0.00025 um / 80 mesh= 0.177 mm= 0.00018 um / 100 mesh= 0.149 mm= 0.00015 um



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Conclusión general

➡ De acuerdo a los resultados presentados y aunque se encontraron diferencias estadísticas significativas, es posible establecer que:

Las magnitudes y la variabilidad de las propiedades físicas, morfológicas, térmicas y nano-mecánicas de la fibra de corteza de *E. nitens*, junto con los resultados obtenidos en el proceso de molido, tamizado, extrusión, densidad y módulo elástico en tensión (E_t) del MC, están dentro de rangos que podrían justificar su aplicabilidad como fibra de refuerzo en matrices termoplásticas.



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por **5** años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Chile
Comisión Nacional
de Acreditación

Referencias:

- Ballerini, A., Bustos, X., Ramos, M., Wechsler, A. 2008. Paper SW-05. <http://www.swst.org/meetings/AM08/proceedings/WS-05.pdf>
- Einspahr, D; Van Eperen, R; (Harder) Fiscus, M. 1984. *Wood and Fiber Science* 16(3): 339-348
- Gacitúa, W., Wolcott, M. 2009. *Maderas Ciencia y Tecnología* 11(3): 217-231
- Geldres, E., Gerding, V., Schlatter, J. 2006. *Bosque* 27(3): 223-230
- Igartúa, D; Monteoliva, S; Monterubbianesi, M, Villegas, M. 2003. *IAWA Journal* 24(2): 173-184
- INFOR. 2008. <http://www.infor.cl/es/series-y-estadisticas.html>
- Jane, F. 1970. The structure of wood. Eds. Adam & Charles Black. 478p
- Jorge, F; Quilhó, T; Pereira, H. 2000. *IAWA Journal* 21(1): 41-48
- Klapperich, C., Komvopoulos, K., Pruitt, L. 2001. *Journal of Tribology* 123: 624-631
- Kibblewhite, R; Ridell, M; Shelbourne, C. 2000. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30(3): 458-474
- Muñoz, F., Valenzuela, P., Gacitúa, W. 2012. *Eucalyptus nitens*: Nanomechanical properties of bark and wood fibers. *Applied Physics A: Material Science & Processing*. 108(4): 1007-1014
- Muñoz, F., Ballerini, A., Gacitúa, W. 2013. Variabilidad de las propiedades físicas, morfológicas y térmicas de la fibra de corteza de *Eucalyptus nitens*. *Maderas Ciencia & Tecnología*. 15(1). DOI 10.4067/S0718-221X2013000100002
- Nabi, D., Jog, P. 1999. *Advances in Polymer Technology* 18(4): 351-363
- Rozas, C. 2002. Resultados Tecnológicos Proyecto FONDEF D981018. Universidad del Bío-Bío. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería en Maderas. 108p.
- Velásquez, B. 2006. *Ecosistemas* 15(1): 77-86
- Yemele, M., Koubba, A., Cloutier, A., Soulounganga, P., Wolcott, M. 2010. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 41(1): 131-137



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por 5 años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



Agradecimientos:

- ➡ Centro de Biomateriales & Nanotecnología www.cbnubb.cl
- ➡ Laboratorio de anatomía de la madera (DIMAD / UBB)
- ➡ Laboratorio de adhesivos (DIMAD / UBB)
- ➡ Centro de Investigación en Polímeros Avanzados (CONICYT REGIONAL/CIPA/R08C1002)
- ➡ Laboratorio diseño y tecnología de la madera (UBB)
- ➡ Pabellón tecnológico de la madera (DIMAD / UBB)
- ➡ Forestal Mininco S.A.
- ➡ Aserradero Agroforestal Nahuelbuta S.A.
- ➡ Tecnológico de Costa Rica (TEC), Organización de los Estados Americanos (OEA) y Programa de doctorado en Ciencias e Industrias de la Madera (DOCIMAD) del Depto. Ingeniería en Maderas de la Universidad del Bío-Bío, por el apoyo financiero de becas.



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Universidad de la Región del Bío-Bío

Acreditada por **5** años
2009/2014

- Gestión Institucional
- Docencia de Pregrado
- Investigación
- Vinculación con el Medio



www.ubiobio.cl

***Por su atención...
muchas gracias !!!***



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
La Libertad del Conocimiento