

DETERMINATION OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF SEAWEED AND SECONDARY FIBER MIX-MADE PAPER

Troncoso Nicolás¹, San-Martín Sergio¹, Agurto Andrés¹, Teixeira Regis^{1,2}, Agurto Cristian¹ & Pereira Miguel³

¹Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina, Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción-Chile, nicotroncoso@udec.cl; ²Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Concepción-Chile; ³Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Concepción-Chile.

Tabla 1. Largo y ancho promedios de macroalgas determinados a través de equipo FiberTester, comparado con fibras madereras (Vera, 2015)

Especie	Longitud de la fibra (mm)	Ancho de la fibra (µm)	n
<i>U. lactuca</i>	0,523	46,7	443
<i>G. chilensis</i>	0,933	23,6	348
<i>M. pyrifera</i>	0,728	18,5	94
<i>P. simonii</i>	0,75 - 0,85	-	-
<i>Q. alba</i>	1,0	-	-
<i>E. globulus</i>	1,0	0,018	-

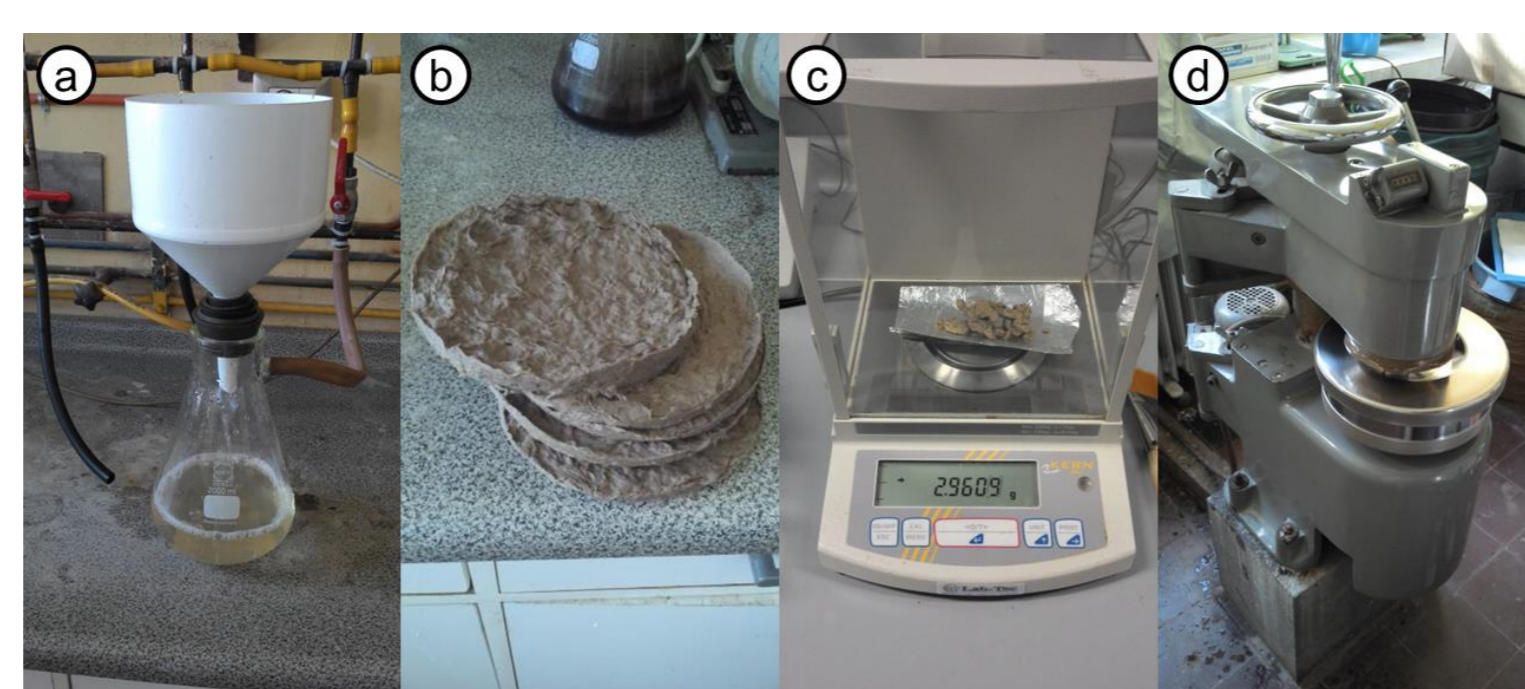


Figura 1. Proceso para la obtención de pasta de fibra secundaria y algal. a) Extracción de agua, b) Compactado de fibras, c) Determinación del peso seco y d) Proceso para obtención de pasta.

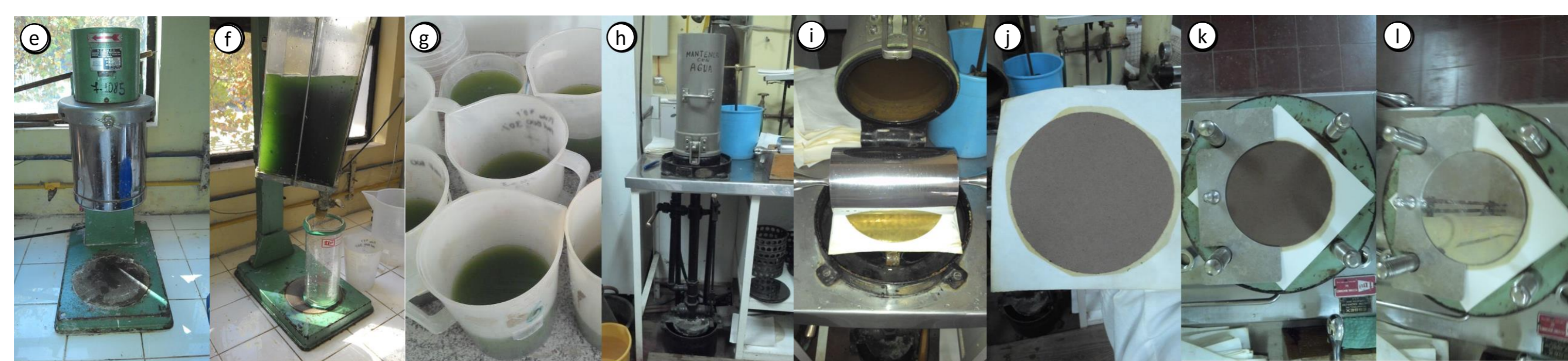


Figura 2. Continuación; e) Homogeneizador helicoidal, f) Homogeneizador por dilución, g) Fracciones obtenidas para la formación de hojas de papel, h) Equipo formador de hojas, i) Detalle de los componentes del equipo formador de hojas, j) Composición de una hoja de papel formada adherida a papel periódico y soporte de pulpa virgen y k) Instalación de la hoja formada en prensa y l) Adición de un disco metálico "respingo" sobre hoja formada.

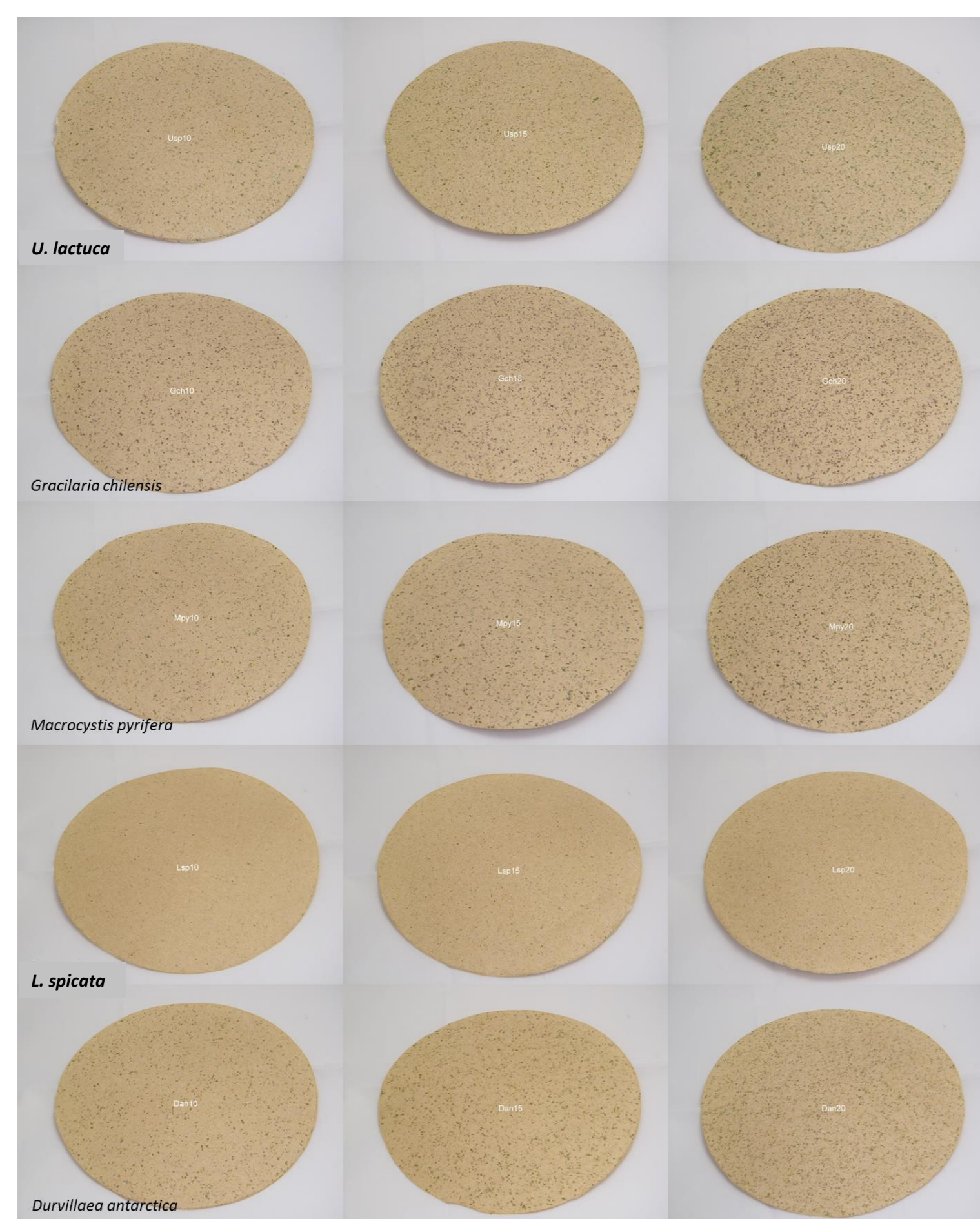


Figura 3. Papeles desarrollados a partir de mezcla de fibra secundaria y fibra mecánica al 10%, 15% y 20%, con sus respectivas macroalgas.

Tabla 2. Propiedades físico-mecánicas

Biomasa	%	Gramaje	Volumen	Índice	Índice	Índice
Fibra secundaria		g/m ²	cm ³ /g	rasgado	explosión	tensión
<i>U. lactuca</i>	10	55,133 ± 0,643	1,624 ± 0,014	3,799 ± 0,158	9,179 ± 1,337	56,928 ± 3,883
	15	52,940 ± 0,297	1,773 ± 0,010	2,635 ± 0,199	8,947 ± 0,752	48,091 ± 3,426
	20	50,139 ± 0,289	1,793 ± 0,009	2,432 ± 0,203	7,659 ± 0,000	46,856 ± 2,147
		49,960 ± 0,275	1,845 ± 0,010	2,296 ± 0,126	8,631 ± 0,959	45,023 ± 2,176
<i>G. chilensis</i>	10	52,080 ± 0,471	1,797 ± 0,016	2,719 ± 0,183	8,157 ± 0,577	45,136 ± 1,276
	15	49,690 ± 1,540	1,906 ± 0,078	2,205 ± 0,184	8,871 ± 1,076	36,681 ± 3,444
	20	49,210 ± 0,737	1,965 ± 0,030	1,946 ± 0,218	8,470 ± 0,307	33,381 ± 1,744
		52,910 ± 0,883	1,811 ± 0,030	2,624 ± 0,194	8,558 ± 0,524	37,246 ± 2,423
<i>M. pyrifera</i>	15	52,130 ± 0,522	1,935 ± 0,019	1,679 ± 0,165	9,515 ± 0,351	28,902 ± 2,504
	20	49,790 ± 1,376	1,945 ± 0,054	1,398 ± 0,091	8,114 ± 0,979	25,467 ± 3,389
	10	52,220 ± 1,035	1,880 ± 0,034	2,505 ± 0,270	9,154 ± 1,262	30,939 ± 4,720
<i>L. spicata</i>	15	49,494 ± 0,744	1,733 ± 0,016	2,095 ± 0,339	8,615 ± 1,836	38,362 ± 2,949
	20	50,650 ± 0,605	1,746 ± 0,021	1,857 ± 0,238	7,755 ± 0,942	34,048 ± 3,236
	10	52,210 ± 0,821	1,835 ± 0,029	2,098 ± 0,184	9,378 ± 1,160	38,409 ± 3,698
<i>D. antarctica</i>	15	54,377 ± 1,139	1,830 ± 0,038	1,914 ± 0,275	8,560 ± 1,627	37,285 ± 3,395
	20	51,970 ± 0,271	1,760 ± 0,009	1,770 ± 0,177	8,066 ± 0,469	32,891 ± 2,225

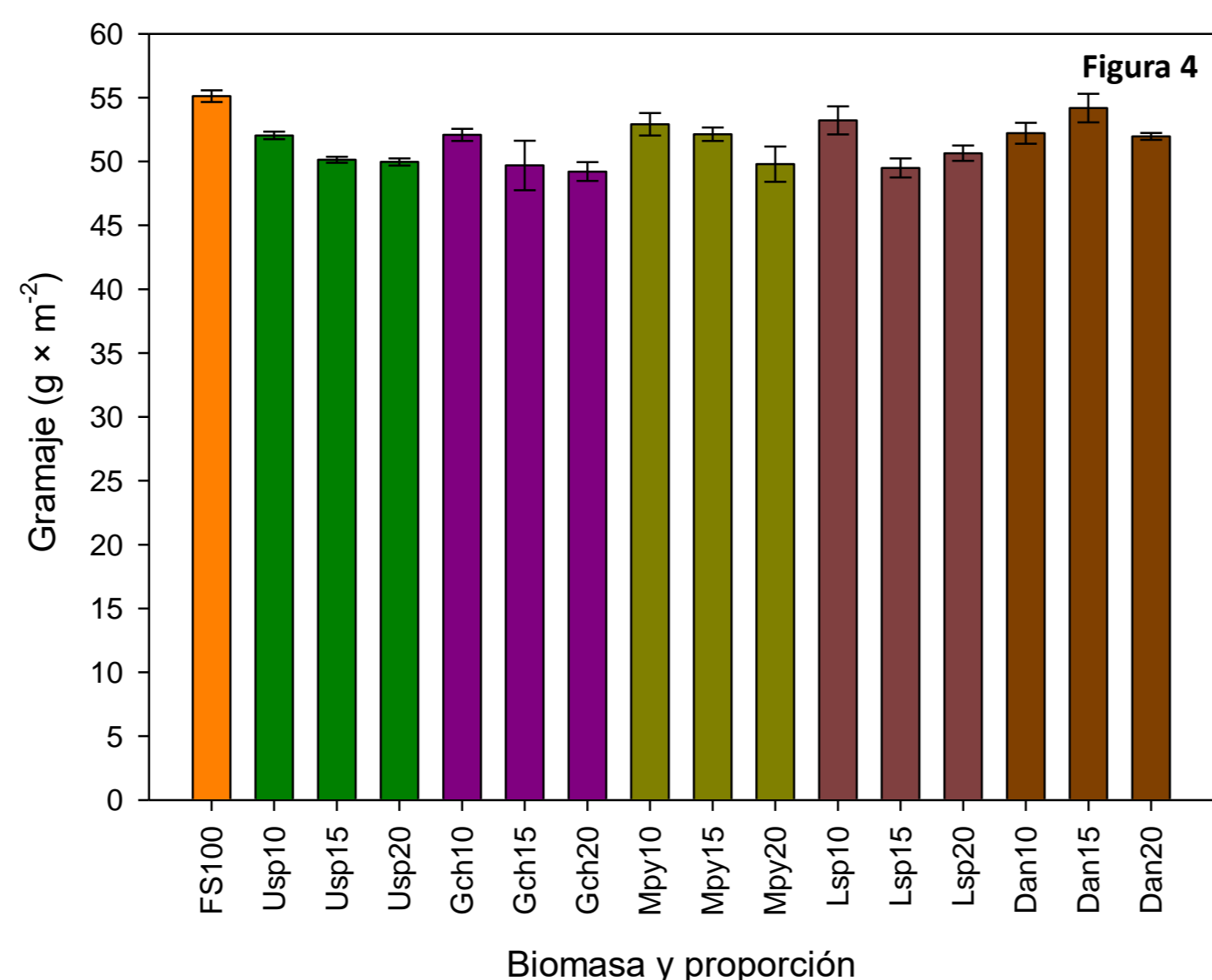


Figura 4. Gramaje (g x m⁻²)

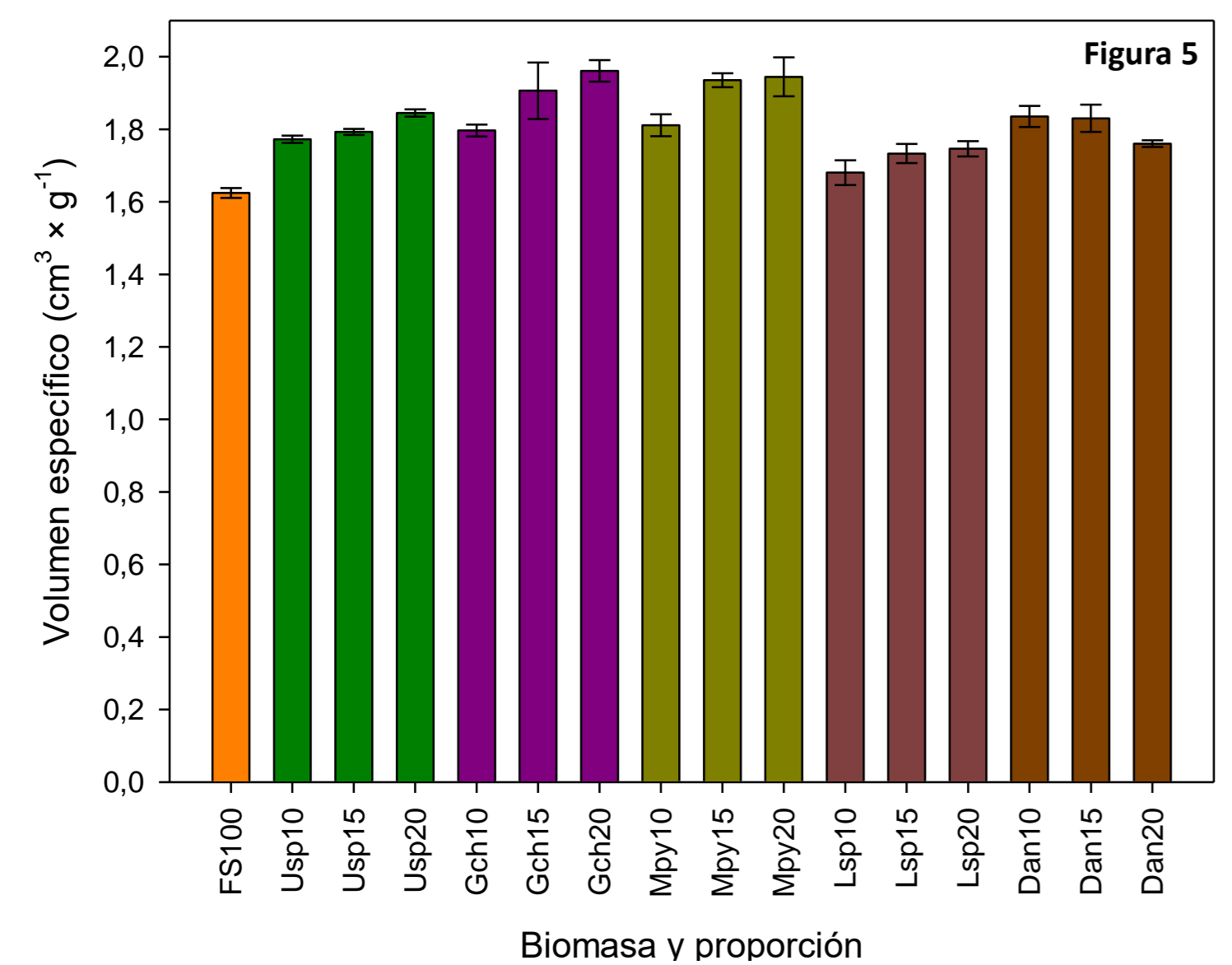


Figura 5. Volumen específico (cm³ x g⁻¹)

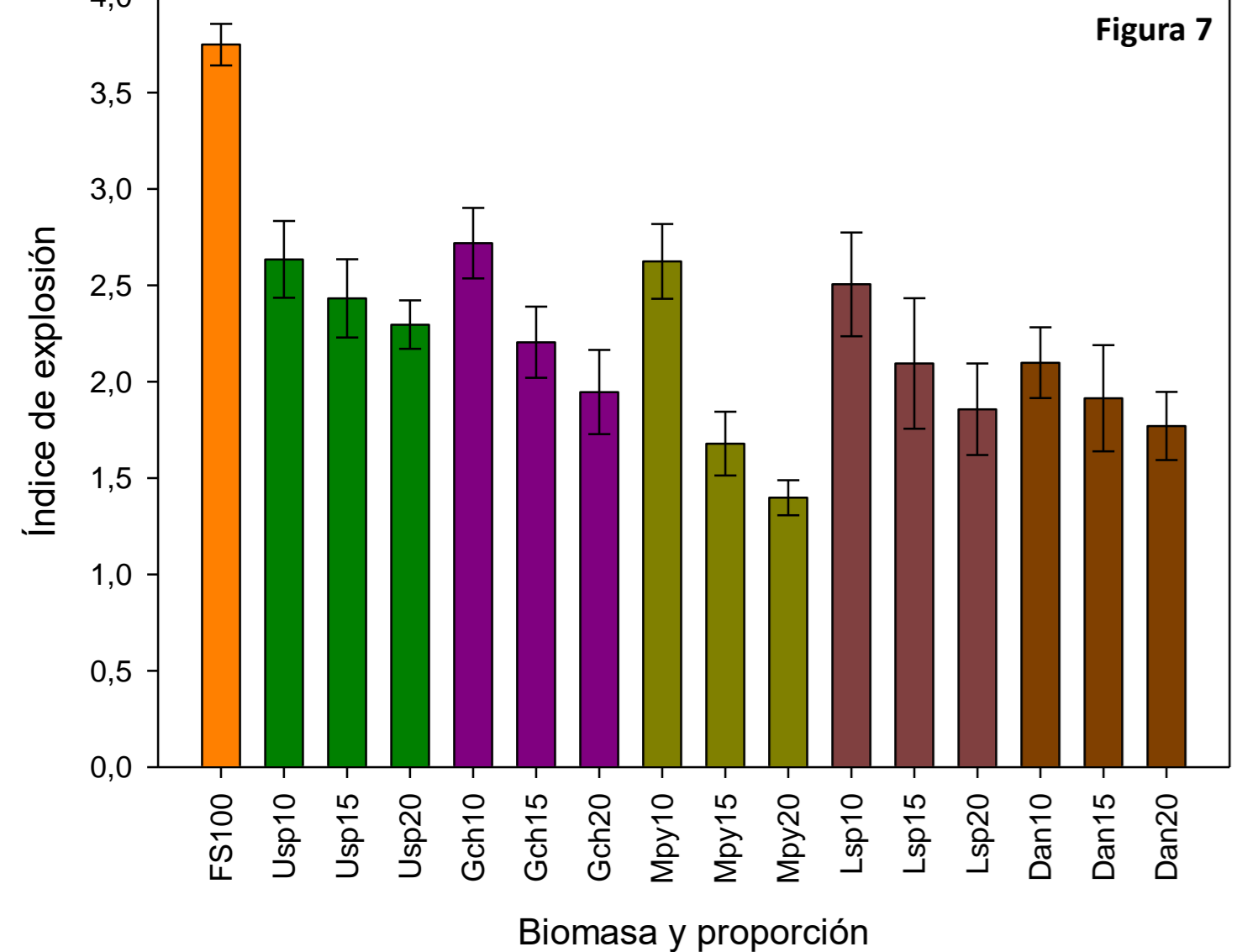


Figura 7. Índice de explosión

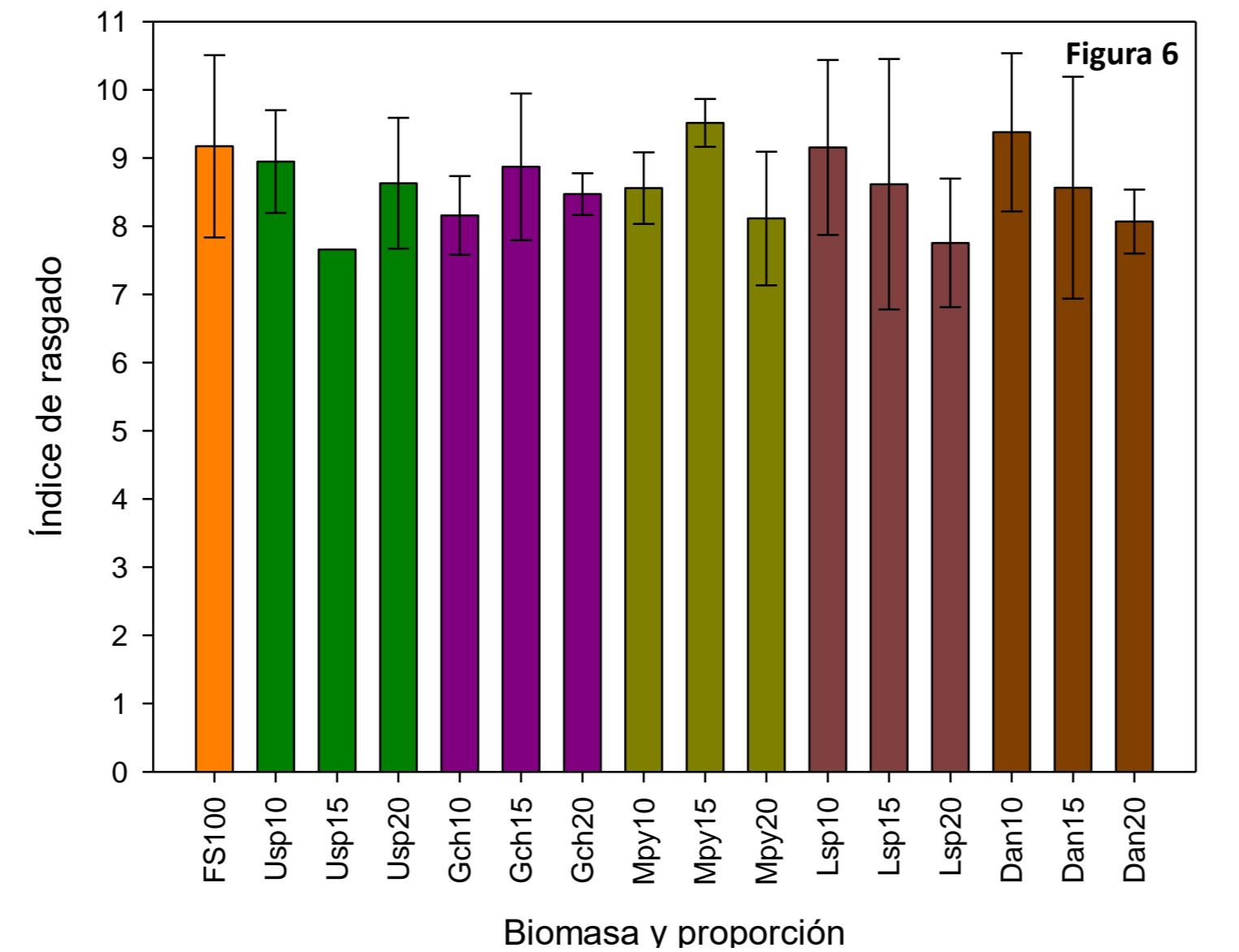


Figura 6. Índice de rasgado

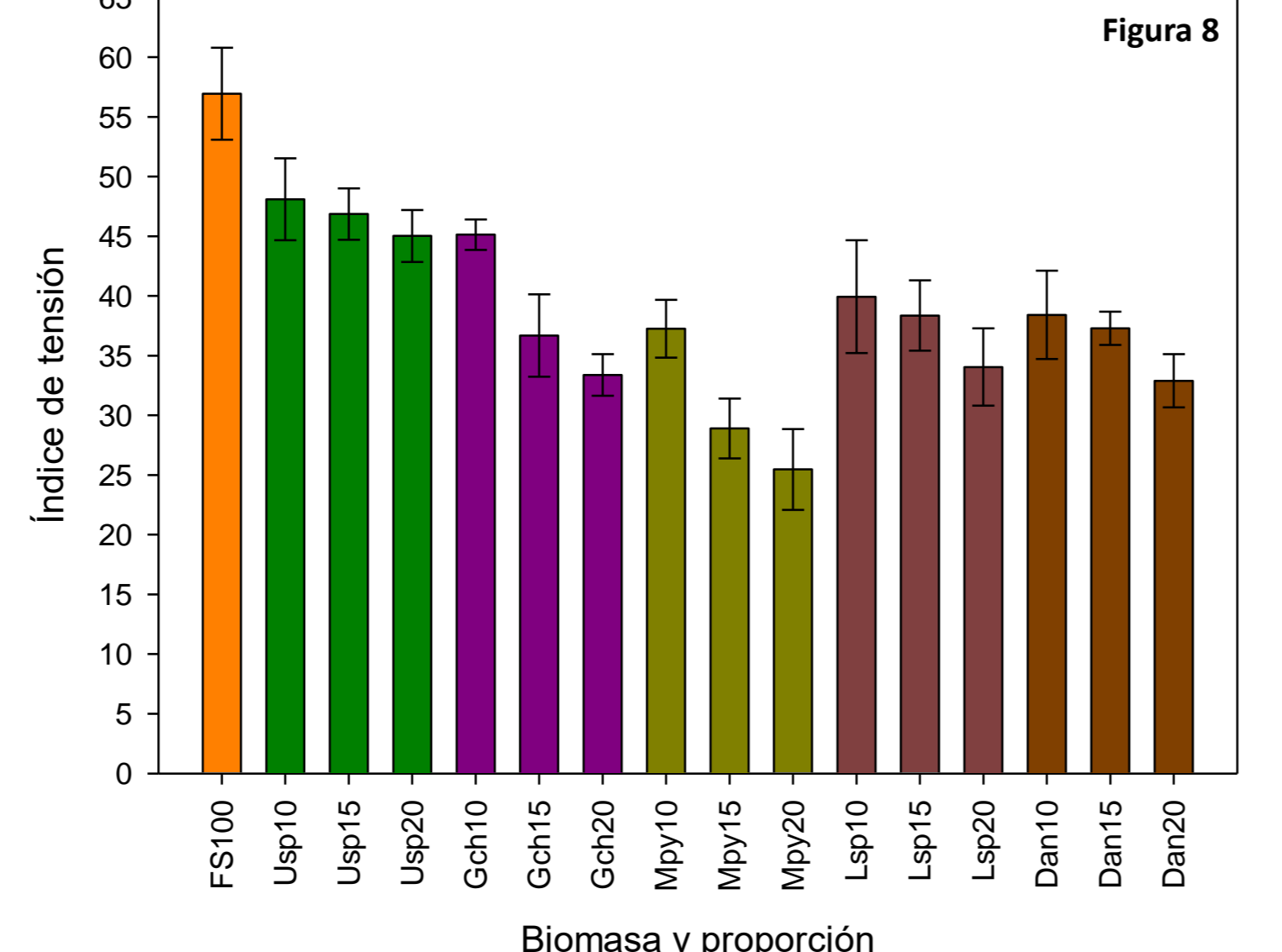


Figura 8. Índice de tensión

ABSTRACT

The Chilean paper industry produces 5,6 million tons of cellulose pulp annually, with an estimated consumption of 1,2 million tons of paper approximately. During 2013, CMPC consumed 739.000 tons of recycled paper, equivalent to 43% of their total production. Paper can be recycled up to 6 times, however, in every process it requires the incorporation of virgin pulp for maintaining paper's physico-mechanical properties. In this sense, seaweeds can constitute a new raw material for paper production, replacing virgin pulp with seaweeds like *Rhizoclonium* spp. y *Gracilaria* spp. which possess fibers equivalent to those traditionally used, allowing the mixture and maintenance of their properties. Paper production was performed under TAPPI T 205 om-88 norms with secondary fiber paste in combination with different proportions of seaweed at 10, 15 and 20%. Seaweeds *Gracilaria chilensis*, *Lessonia spicata*, *Macrocystis pyrifera*, *Durvillaea antarctica* and *Ulva lactuca* were used for determining the effect they produced in physico-mechanical properties of paper such as grammage, bulk, burst index, tear index and tensile index. Data was analyzed through two-way variance analysis, finding no statistical differences in tear index ($p > 0,5$), but successfully finding it in burst index and tensile index ($p < 0,01$). It was observed an inversely proportional behavior between the biomass content and the mechanical properties of burst and tensile indexes. In conclusion, the mix of seaweed species *L. spicata*, *G. chilensis* and *U. lactuca* at 10% is optimal for paper production because tensile index ($44,4 \pm 4,1$) and burst index ($2,6 \pm 0,1$) reached with those seaweeds are similar to products available in the market, therefore, it is possible to supply with seaweeds the requirements of virgin pulp needed for this purpose.

INTRODUCCION

La industria chilena de celulosa produce anualmente 5,6 millones de toneladas de pulpa de celulosa, con un consumo estimado de 1,2 millones de toneladas de papel. La industria se abastece de una tala anual de 40.000.000 m³ de madera, que proviene en un 98% de plantaciones [1]. La producción de papeles, cartones y otros productos de papel, se concentra en la Región del Biobío con un 44% del total nacional y está liderada por la empresa CMPC quien aporta un 81,1% de la producción [2]. La empresa CMPC consumió 739.000 toneladas de papel reciclado, para la elaboración del 43% de su producción total en 2013 [3]. El papel, permite ser reciclado hasta siete veces [4], pero cada vez que es reciclado se debe incorporar pulpa virgen para mantener las propiedades físico-mecánicas. Las macroalgas *Rhizoclonium* sp. y *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss, poseen fibras largas que varían entre 0,5 a 3 mm, las que favorecen algunas propiedades de resistencia del papel, permitiendo la mezcla de estas con las fibras tradicionales y manteniendo sus propiedades [5] [6]. Chile posee una franja litoral rica en macroalgas desde la cual se han identificado más de 400 especies [7] y constituyen un potencial biotecnológico para múltiples aplicaciones, como por ejemplo la elaboración de papel. A nivel nacional han sido obtenidas fibras algales desde algunas macroalgas con valores de longitud similares a los observados en especies de árboles tales como *Populus simonii*, *Quercus alba* y *Eucalyptus globulus* (Tabla 1), lo cual permitiría su uso como materia prima en la producción de papel [8]. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto que producen algunas macroalgas sobre las propiedades físico-mecánicas del papel.

METODOLOGIA:

Las macroalgas fueron recolectadas desde praderas naturales ubicadas en la Provincia de Concepción: *Gracilaria chilensis* C.J.Bird, McLachlan & E.C.Oliveira (36°45'S; 73°10'O), *Lessonia spicata* (Suhr) Santelices, *Durvillaea antarctica* (Chamisso) Hariot y *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C.Gardh (desde 36°45'S; 73°10'O) y *Ulva lactuca* Linnaeus (36°35'S; 72°58'O). Las muestras frescas fueron almacenadas individualmente en bolsas plásticas y transportadas en oscuridad al interior de dispositivos termo-aislados. Luego, fueron lavadas para la remoción de sales, arena y epifitos. A continuación, fueron almacenadas al vacío en oscuridad a una temperatura de $-20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta su uso [9]. La elaboración de los papeles fue realizada bajo la norma TAPPI T 205 om-88 (Technical Association of Pulp and Paper Industry) en el Laboratorio de Productos Forestales (Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UdeC) empleando fibras secundarias y pulpa mecánica de macroalgas [10] en proporciones de 10, 15 y 20% de contenido algal (Fig. 1 y 2). La evaluación de las propiedades físico-mecánicas fue realizada bajo la norma TAPPI T 220 la cual contempla la determinación del gramaje, volumen específico, rasgado, explosión y tensión. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ANOVA de dos vías, aplicando test posteriores para establecer diferencias y determinar los efectos.

RESULTADOS:

Los papeles obtenidos según tipo y proporción macroalgal, son presentados en la figura 3 y tabla 2. La propiedad de gramaje (Fig. 4) y volumen específico (Fig. 5) lograron valores promedio de $51,5 \pm 1,8 \text{ g m}^{-2}$ y $1,8 \pm 0,1 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. El índice de rasgado, presentó un valor promedio de $8,6 \pm 0,6$ no presentando diferencias en relación al tipo de macroalga ni proporción empleada (Fig. 7, ANOVA $F = 1,6$; $p > 0,05$). El valor promedio alcanzado por el índice de explosión, fue de $2,6 \pm 0,1$ (Fig. 7, ANOVA $F = 8,84$; $p < 0,001$) y para el índice de tensión fue de $44,4 \pm 4,1$ (Fig. 8, ANOVA $F = 3,23$; $p < 0,01$) ambas propiedades presentan diferencias significativas en función del tipo de algas y su proporción de mezcla. Fue observado un comportamiento inversamente proporcional que, disminuye los valores de las propiedades mecánicas del índice de explosión e índice de tensión al aumentar la biomasa algal en la mezcla.

DISCUSIÓN:

- Los análisis establecen que las mezclas al 10% de las macroalgas verdes, rojas y pardas seleccionadas son adecuadas para el desarrollo de papeles, ya que, en promedio los valores alcanzados para tensión son similares al de algunos productos de papel disponibles en el mercado, como por ejemplo el papel sulfito, empleado para proteger a la fruta de exportación, el cual posee valores de 45 y 3 como índices de tensión y explosión, respectivamente.
- Los papeles elaborados con *M. pyrifera* al 15 y 20 % presentaron un valor promedio por debajo de 30 para el índice de tensión lo que se considera un valor bajo en la industria papelería.
- Papeles elaborados con *Gracilaria* s. por Nizar (2014) [11] mostraron un volumen específico de $0,18 \text{ g cm}^{-3}$ valor que difiere del obtenido. Lo anterior puede ser explicado, debido a diferencias metodológicas que emplearon un 100% de *Gracilaria* y al modo de evaluación que utilizó la norma ASTM D 828-97 (2002), pero principalmente

CONCLUSIÓN:

- Los valores obtenidos con *U. lactuca*, en sus tres proporciones, en función del índice de tensión son competitivos con los obtenidos por los papeles generados a partir de fibras secundarias al 100%. No obstante, la propiedad de rasgado no presentó diferencias y los valores de gramaje y volumen específico fueron similares entre los tratamientos.
- En las propiedades físico-mecánicas de tensión y explosión, se observó una relación inversamente proporcional al aumentar el contenido de fibras algales en mezcla con las fibras secundarias.
- Los análisis concluyen que las fibras macroalgales pueden ser empleadas para el proceso de reciclaje del papel, al mantener algunas de propiedades mecánicas similares a competidores. Por lo tanto, es factible el uso alternativo de un 10% de las macroalgas *U. lactuca*, *G. chilensis* y *L. spicata* para reemplazar el contenidos de fibras vírgenes empleadas durante el reciclaje.

AGRADECIMIENTOS:

Se agradece al personal del Laboratorio de Productos Forestales (Facultad de Ingeniería, UdeC) por la colaboración prestada durante el trabajo realizado, en forma especial a Brenda Cáceres Roldán y Pamela González Faunes. Agradecer a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) por el financiamiento otorgado a través del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) en el marco del proyecto I+D D111-1226. Adicionalmente, agradecemos a las empresas TERRA NATUR S.A., INDUGRAS S.A., e INNOCON S.A. por el compromiso y apoyo entregado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS: [1] Papermarket, «Chile país forestal», 2012. <http://www.papermarket.cl/>. [2] Depto. de Economía UdeC, «Análisis de la cadena de producción y comercialización del sector forestal chileno: Estructura, agentes y prácticas», 2009. [3] Lignum, «Papel y cartón reciclado: Un negocio en que todos ganan», 2014. <http://www.lignum.cl/reportajes/papel-y-carton-reciclado-un-negocio-en-que-todos-ganan/>. [4] TAPPI, «Frequently Asked Questions», 2001. <http://www.tappi.org/faq/>. [5] Su YC et al 1999 Journal of Applied Phycology, 11, pp. 525-533. [6] Lakstiresmi DR et al, 2010, IEEE International Conference on Advanced Management Science, Chengdu-China. [7] Ramírez M.E. y B. Santelices, 1991, Monografías Biológicas, Facultad de Ciencias Biológicas, PUC de Chile, pp. 1-437. [8] Vera S.A., 2015, Tesis, Universidad de Concepción. [9] Troncoso N., et al, 2015, Revista de Biología Marina y Oceanografía, vol. 50, nº S1, pp. 199-204. [10] TAPPI Test Methods, Standard methods for pulp and paper, Atlanta: TAPPI Press, 1992. [11] Nizar et al (2014) Internat. J. Sci. Eng., Vol. 6(1)(2014):1-10.