

## CONTENIDO CELULOSICO DE TRES VARIETADES DE *Pennisetum purpureum* PARA PRODUCCIÓN DE PAPEL EN VERACRUZ, MEXICO

### [CELLULOSE CONTENT OF THREE VARIETIES OF *Pennisetum purpureum* FOR PAPER PRODUCTION IN VERACRUZ, MEXICO]

Ángel Capetillo-Burela<sup>1</sup>, Rigoberto Zetina-Lezama<sup>1</sup>, Marco Antonio Reynolds-Chávez<sup>1</sup>, Martín Cadena-Zapata<sup>2</sup>, Juan Antonio López-López<sup>2</sup>, Cristian Matilde-Hernández<sup>1</sup>, Abiut Espinoza-Del Carmen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Cotaxtla. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 34.5 Carretera Veracruz Córdoba, Medellín, Veracruz, México. Teléfono: 8000882222, Ext. 87230 y 87254. <sup>2</sup>Universidad Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.

§Autor para correspondencia: (capetillo.angel@inifao.gob.mx).

### RESUMEN

En los últimos años, la industria del papel ha mostrado una tendencia a la baja por falta de materia prima como lo es el bagazo de caña de azúcar en sustitución del combustóleo; lo cual, ha ocasionado un alza en el precio del papel cortado y cuadernos por la compra de celulosa importada. Con el objetivo de contar con alternativas de vanguardia para la producción de celulosa con características similares al bagazo de caña de azúcar, fueron evaluadas y caracterizadas tres variedades de *Pennisetum purpureum* Schumach (Taiwán, King Grass y Caña Africana a los 120, 150 y 200 días después de la siembra) en base a las Normas establecidas por la Technical Association of the Pulp and Paper Industries (TAPPI) para la determinación de fibra útil de esos pastos. Se encontró que la var. Taiwán presentó a los 200 días después de la siembra 86.1% de blancura en la celulosa y excelente comportamiento en la utilización de permanganato durante el cocimiento de la fibra con 8.2 ml por cada 100 g de fibra, en comparación con las var. King Grass y Caña Africana que presentaron una blancura de la celulosa de 77.6 y 73.0%, respectivamente; en la misma fecha de corte y de 10.3 y 9.7 ml de permanganato en el cocimiento de la fibra en la fecha antes mencionada. Se concluye que la var. Taiwán es una de las promisorias para la producción de fibra y celulosa con características similares a las que se producen con el bagazo de caña de azúcar.

**Palabras clave:** Digestor, laboratorio, suelo, papel, pasto.

### ABSTRACT

In recent years the paper industry has shown a downward trend due to lack of raw material such as sugarcane bagasse to replace fuel oil; which has caused a rise in the price of cut paper and notebooks due to the purchase of imported cellulose. In order to have cutting-edge alternatives for the production of cellulose with characteristics similar to sugarcane bagasse, three varieties of *Pennisetum purpureum* Schumach were evaluated at the laboratory (Taiwan, King Grass and African Caña at 120, 150 and 200 days after sowing) based on the standards established by the TAPPI for the determination of useful fiber of these pastures. It was found that the Taiwan variety presented at 200 days after sowing 86.1% whiteness in the cellulose and excellent performance in the use of permanganate during the cooking of the fiber with 8.2 ml per 100 g of fiber, compared to the King Grass and Africana Caña varieties that presented cellulose whiteness of 77.6 and 73.0%, respectively on the same cutting date and of 10.3 and 9.7 ml of permanganate when the fiber was cooked on the same date mentioned above. It is concluded that the Taiwan variety is one of the promising varieties for the production of fiber and cellulose with characteristics similar to those produced with sugarcane bagasse.

**Key words:** Digester, laboratory, soil, paper, grass.

## INTRODUCCION

En los últimos años ha existido preocupación a nivel mundial por el aumento de la demanda de energía y de proyecciones que reflejan el agotamiento de los combustibles fósiles en las recientes décadas (Capellán-Pérez *et al.*, 2014). Esto, junto a la inquietud por el impacto ambiental de los combustibles fósiles, impulsa la necesidad de investigar en la producción de fuentes alternativas de energía, entre ellas la utilización de biomasa de fibras blandas como la caña de azúcar y algunos pastos de corte.

Ra *et al.* (2012) explican que debido al aumento del precio del combustible fósil y a la necesidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, se estimuló el aumento de la producción global de energía renovable a partir de biomasa en el primer trimestre del año 2000, por lo que la utilización de cultivos perennes tiene múltiples ventajas, ya que ayudarían a reducir la degradación de los suelos, bajarían la dependencia en petróleo y reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero (McLaughlin *et al.*, 1999). En este sentido, la mayoría de los pastos de corte del género *Pennisetum purpureum* Schumach, son una opción de cultivos diferenciados, debido que se desarrollan adecuadamente en diversos ambientes agroecológicos con altas producciones de biomasa (tallos y hojas) para forraje a partir de los 70 días después de la siembra (dds); sin embargo, cuando éstos son cosechados entre los 120 a 180 dds, pueden alcanzar volúmenes superiores a las 130 t ha<sup>-1</sup> de materia verde que pueden ser utilizadas en primer lugar como planta de corte para suministrar alimento al ganado en los corrales, ensilajes con una calidad inferior al maíz (*Zea mays*) o sorgo (*Sorghum bicolor*), fabricación de pellets, cercas vivas, protección de terrazas en suelos con pendiente, abonos verdes, silo, energía eléctrica, y papel cortado de calidad industrial (Fontoura *et al.*, 2015; Falasca *et al.* 2011; Angelini *et al.*, 2005; Angelini *et al.*, 2009).

Estas opciones diferenciadas han convertido a estos pastos de corte, en una alternativa agrícola estratégica para México por los problemas que se tienen actualmente en aspectos del cambio climático, calentamiento global y el uso de energías limpias amigables con el ambiente, tratando de mitigar la perturbación de los ecosistemas naturales de nuestro país. El objetivo de este trabajo fue evaluar el contenido y calidad de celulosa en tres fechas de corte (120, 150 y 200 dds) a nivel laboratorio de tres variedades de pastos del género *P. purpureum* (Taiwán, King Grass y Caña Africana) para la producción de papel a nivel laboratorio para la generación de nuevas opciones enfocadas a la producción de celulosas diferenciadas a las que se obtienen con el uso de árboles maderables y celulosas importadas.

## MATERIALES Y METODOS

### Procedencia y siembra del material biológico

Las tres variedades de *P. purpureum* (Taiwán, King Grass y Caña Africana), fueron colectadas en el Campo Experimental La Posta del INIFAP, el cual se ubica en el km 22.5 de la carretera libre Veracruz-Córdoba, en Paso del Toro, Medellín, Ver., a 19° 02' de latitud norte, 96° 08' longitud oeste y una altitud de 16 m. Éstas fueron sembradas en la localidad de Piedras Negras, Veracruz en la modalidad de punta y cola en cordón doble en franjas de cinco surcos de 1.2 m entre surcos y con 20 m de longitud.

El clima de la región de acuerdo con García (1987), corresponde al intermedio del tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw1), con temperaturas media de 25.4 °C y precipitación anual de 1,337 mm. El suelo fue clasificado como Vertisol, con pH de 5.4, textura arcillosa y con un contenido de materia orgánica de 2.6%. El manejo agronómico que recibieron las variedades consistió en la aplicación de riegos por gravedad, aplicación de herbicida preemergente, control de malezas los primeros 60 dds, control de las principales plagas del follaje (gusano cogollero y grillos), fertilización en dosis de 180-60-80 unidades de N-P-K (50% a la siembra y el 50% restante a los 60 días después de la primera aplicación. La cosecha se

realizó de forma manual a los 120, 150 y 200 días después de la siembra, las cuales en cada una de esas fechas se trasladó a un laboratorio de Orizaba Veracruz una muestra homogénea de 100 kg de planta completa (tallos, hojas y cogollo) para sus determinaciones a nivel laboratorio basados en las normas de la TAPPI para la extracción de celulosa para hacer papel.

### Entrega/recepción de material vegetativo

Cada una de las muestras recibidas en las tres fechas de corte (120, 150 y 200 dds), se les determinó el porcentaje de las siguientes variables: Humedad, Fibra/Polvillo, Fibra Apta y Seca (FAS), Sólidos Solubles y Arena, así como su comportamiento en el proceso de cocimiento y blanqueo para la obtención de celulosa para hacer papel. En las tres variedades y fechas, los pastos fueron desfibrados (planta completa), para su posterior lavado ligero simulando el proceso de bombeo a nivel industrial, y con ello y eliminar el contenido de arena y médula generada durante ese proceso. Finalmente, el cocimiento de la celulosa se llevó a cabo en el digestor piloto con las siguientes condiciones de operación para las 12 muestras con cinco repeticiones por variedad y fecha de corte (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Condiciones de operación a nivel laboratorio utilizadas para la extracción de celulosa de tres variedades de *P. purpureum* a nivel laboratorio.

Actividad	Indicador
Presión de vapor (kg cm <sup>-2</sup> )	8.50
Porcentaje de sosa	18.0
Tiempo de reacción (min.)	15.0
Temperatura de reacción (°C )	178

El blanqueo se llevó a cabo en tres etapas a nivel laboratorio y bajo las mismas condiciones de operación para las 12 muestras con sus repeticiones indicadas en el cuadro 2.

### Métodos y normas

Las técnicas y normas que se describen a continuación son las utilizadas para el procesamiento de las tres variedades de *P. purpureum* a los 120,150 y 200 días después de la siembra: Método rutinario para el muestreo homogéneo en campo y laboratorio de *P. Purpureum*, determinación de Humedad en fibra, Polvillo, Sólidos Solubles Totales, Arena, Humedad del Pasto en trozos, Contenido de Hoja, así como las Normas establecidas por la TAPPI en el Método Útil 3 (TAPPI, 2010), basados todos ellos en la determinación de fibra útil en bagazo de caña de azúcar (Fernando, 1978).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Indicadores de planta completa

Se encontró que la mejor época de corte de esas tres variedades fue a los 150 dds, debido que presentaron una humedad de la planta de 68.46, 66.67 y 67.7% con respecto a las plantas analizadas a los 120 y 200 dds que presentaron promedios de 79 y 78% de humedad en esas fechas. Esto indica que en la primera fecha de corte los tallos presentan una gran cantidad de hoja y agua y una menor cantidad de fibra; mientras que la tercera fecha de corte (200 dds), las cepas presentaron hasta tres generaciones de hijuelos en sus cepas ocasionando un mayor contenido de humedad al momento de homogeneizar la muestra. En este sentido, algo similar sucedió con la variable Sólidos Solubles Totales (SST), debido que a los 120 y 200 dds, las tres variedades presentaron valores superiores a los encontrados a los 150 dds (25.5% de SST), con un promedio de 36.7 y 30.5% en las dos fechas antes mencionadas (120 y 200 dds).

**Cuadro 2.** Condiciones de operación para el blanqueo de la fibra y celulosa tres variedades de *P. purpureum*.

<b>Condiciones de operación para el blanqueo de la celulosa</b>	
1°. Etapa (hipoclorito) UM	
Consistencia, %	3.5
Temperatura, °C	48
Tiempo, min.	40
Dosificación de hipoclorito, %	4.0
2° Etapa (EP)	
Consistencia, %	10
Temperatura, °C	84
Tiempo, min	90
Dosificación de peróxido, %	2
Dosificación de sosa, %	1.3
3° Etapa (P)	
Consistencia, %	10
Temperatura, °C	80
Tiempo, min	150
Dosificación de peróxido, %	1.0
Dosificación de sosa, %	0.4

La variable por ciento de hoja es un factor determinante en el contenido de fibra y celulosa durante el proceso de extracción de fibra y celulosa, ya que las nervaduras de las hojas contienen gran cantidad de sílice que afecta severamente el proceso antes mencionado (Hoc, 2010).

Así mismo, se sabe que *P. purpureum* tiene su genética dirigida a la producción de hojas por ser un pasto de corte; ya que se encontró que para el caso de la var. Taiwán presentó 58.01, 46.62 y 29.79% de hoja a los 120, 150 y 200 dds, respectivamente. Mismo comportamiento presentaron las variedades King Grass y Caña Africana con un promedio entre ambas de 47.1, 40.8 y 29.4% de hoja en las tres fechas de corte, respectivamente. Finalmente, el porcentaje de contenido de Fibra Apta y Seca (FAS), es el resultado de las variables antes mencionadas, así como también la consistencia, relación fibra/polvillo, arena, cenizas, e hijuelos principalmente; las cuales cada una de ellas juega un papel de suma importancia en la concentración de FAS; por ejemplo, a un mayor número de humedad y SST se tiene una disminución del FAS en al menos un 20% y así sucesivamente con el resto de los indicadores antes mencionados. En este sentido se encontró que el mayor contenido de FAS en las tres variedades fue a los 150 dds con 24.07, 24.96 y 23.77% para las var. Taiwán, King Grass y Caña Africana, respectivamente; con respecto al promedio encontrado en las mismas variedades, pero en las fechas de corte de 120 y 200 dds que fue de 13.1 y 15.3, respectivamente.

### **Indicadores de pulpa cocida**

En este indicador se realizaron seis determinaciones en las tres fechas de corte que fueron el Rendimiento pulpa Cocida (%), Factor de Consumo, Rechazo (%), Número de Permanganato (ml), Freeness (ml) y

Blancura (%); los cuales se mencionan en las Cuadros 3, 4 y 5. Para el caso de la utilización de permanganato (mL), el menor consumo utilizado en el cocimiento de la fibra fue para la variedad Taiwán con 8.2 a los 200 dds. Este comportamiento fue similar en esta misma variedad a los 120 y 150 dds con 8.4 y 9.8, respectivamente; lo cual indica que la variedad Taiwán tuvo un buen cocimiento y blanqueo de fibra para la obtención de celulosa con respecto a la variedad King grass y Caña Africana. En este sentido Abe y Yano, 2009; Adel *et al.* (2011), encontraron resultados similares en la pulpa cocida de bagazo de caña de azúcar.

### Indicadores de celulosa blanqueada

En este indicador se realizaron nueve determinaciones (Cuadros 3, 4 y 5) en las tres fechas de corte que fueron Blancura Inicial (%), Blancura Neta (%), Área Sucia (ppm), Opacidad (%), Bulk (cc/g), F. Explosión [(gf cm<sup>2</sup>)/(g m<sup>2</sup>)], Factor Rasgado (100 gf/(g m<sup>2</sup>)), Longitud de Ruptura/Tensión(km) y Freeness (ml). Se encontró que para el caso de la variable Blancura Neta, la mejor fue para la variedad Taiwán a los 120, 150 y 200 dds con 79.9, 71.3 y 86.1%, respectivamente. Con respecto a las var. King Grass y Caña Africana que fluctuaron entre 76.5 a 77.46 a los 120 dds, 62.9 a 70.0 a los 150 dds y 73.0 a 77.6% a los 200 dds; siendo nuevamente la var. Taiwán la que presentó el mayor porcentaje de celulosa blanqueada a los 200 dds con 86.1%. Resultados similares fueron encontrados por Chaker *et al.* (2014); Ferrer *et al.* (2012); Li *et al.* (2014); Lahtinen *et al.* (2014); los cuales, al estudiar y comparar celulosas producidas a base de caña de azúcar, madera y otros residuos, encontraron características similares a las encontradas con este tipo de pasto *P. purpureum*.



**Figura 1.** Pasto y celulosa de pasto Taiwán a los 120, 150 y 200 dds.

Por otro lado, en la figura 1 y el cuadro 3, se muestran los resultados obtenidos en la var. Taiwán; la cual presentó 18.31, 24.07 y 14.92% en el contenido de Fibra Apta y Seca a los 120, 150 y 200 dds; encontrando que a los 150 dds esta variedad disminuyó su contenido de hoja e incrementó la cantidad de tallos fibrosos. Aun cuando el factor de consumo es más alto conforme se incrementa la edad de la planta, en el cocimiento dio permanganatos aceptables. La pulpa blanca obtenida de 120 y 200 días tiene buena blancura, aunque los finos son altos. Esta variedad dio la más alta blancura (896.1% a los 200 dds) con respecto al resto de las evaluadas que fueron la King Grass y Caña Africana con 77.6 y 73.09 en la misma fecha de corte. Bajpai (2012) y Balea *et al.* (2016) encontraron resultados similares al evaluar residuos para producción de fibra y celulosa para la elaboración de papel para la industria.

En lo que respecta a la variedad King Grass (Figura 2); esta fue la que presentó el menor porcentaje de FAS a los 120 y 200 dds con 10.98 y 12.77%, respectivamente; sin embargo, a los 150 dds tuvo 24.96% de FAS, logrando un comportamiento similar a las var. Taiwán y Caña Africana con 24.07 y 23.77% de FAS. El cocimiento de la fibra y pulpa no fue el más adecuado con respecto a las otras dos variedades, ya que

esta mostró una mayor dureza durante al cocimiento con respecto a la edad de la planta (Cuadro 4). La blancura de la celulosa fue inferior a la que se obtuvo con la variedad Taiwán en las tres etapas de cosecha.

**Cuadro 3.** Parámetros de calidad pulpa cocida, celulosa blanqueada y Bauer Mc Nett del pasto Taiwán a los 120, 150 y 200 días después de la siembra.

Indicadores evaluados a la planta completa (tallo-hoja-cogollo)	Unidad de medida	Días después de la siembra		
		120	150	200
Humedad	%	74.71	68.46	78.21
Consistencia	%	25.29	31.54	21.79
Relación fibra/polvillo	%	84.54/15.4	79.54/20.4	77.42/22.5
		6	6	8
Sólidos solubles	%	27.56	23.65	30.89
Arena	%	0.04	0.034	0.64
Vara	%	24.51	41.93	55.83
Parte tierna	%	17.48	11.45	14.38
Hoja	%	58.01	46.62	29.79
F.A.S. (con todo)	%	18.31	24.07	14.92
Pulpa cocida				
Rendimiento pulpa cocida	%	53.73	42.97	43.98
Factor de consumo		1.86	2.33	2.27
Rechazo	%	0.130	0.044	0.18
N° de permanganato (pulpa depurada)	ml	8.4	9.8	8.2
<i>Freeness</i> (pulpa depurada)	ml	152	180	130
Blancura (pulpa depurada)	%	38.2	35.84	34.47
Celulosa blanqueada				
Blancura inicial	%	80.6	73.52	84.20
Blancura neta	%	79.9	71.3	81.60
Regresión		0.7	2.2	2.60
Área sucia	ppm	25	7.5	6.60
Opacidad	%	76.65	77.3	74.50
Bulk	cc/g	2.06	2.05	1.80
F. explosión	(gf/cm <sup>2</sup> ) / (g m <sup>2</sup> )	35.67	22.96	31.84
Factor rasgado	100gf / (g/m <sup>2</sup> )	15.83	16.67	14.17
Long. ruptura (tensión)	km	4.74	3.9	4.93
<i>Freeness</i>	ml	440	310	240



**Figura 2.** Pasto Kin Grass y comportamiento de la celulosa de pasto King Grass a los 120, 150 y 200 dds.

**Cuadro 4.** Parámetros de calidad pulpa cocida, celulosa blanqueada y Bauer Mc Nett del pasto King Grass a los 120, 150 y 200 días después de la siembra.

Indicadores evaluados a la planta completa (tallos-hoja-cogollo)	Unidad de medida	Días después de la siembra		
		120	150	200
Humedad	%	79.91	66.67	79.79
Consistencia	%	20.09	33.33	20.21
Relación fibra/polvillo	%	59.37/40.63	57.12/42.88	74.43/25.57
Sólidos solubles	%	45.35	25.05	36.27
Arena	%	0.02	0.052	0.54
Vara	%	42.50	59.26	51.85
Parte tierna	%	9.94	9.65	13.19
Hoja	%	47.56	31.09	34.96
FAS. (con todo)	%	10.98	24.96	12.77
Pulpa cocida				
Rendimiento pulpa cocida	%	52.38	48.64	54.30
Factor de consumo		1.91	2.06	1.84
Rechazo	%	0.905	3.147	0.216
N° de permanganato (pulpa depurada)	ml	8.05	9.3	10.3
<i>Freeness</i> (pulpa depurada)	ml	150	276	229
Blancura (pulpa depurada)	%	39.5	28.08	31.67
Celulosa blanqueada				
Blancura inicial	%	78.7	64.74	80
Blancura neta	%	77.4	62.91	77.60
Regresión		1.3	1.8	2.40
Área sucia	ppm	>100	57	5.70
Opacidad	%	75	75.46	73.47

Bulk	cc g <sup>-1</sup>	2.11	1.97	1.85
F. explosión	(gf cm <sup>2</sup> ) / (g m <sup>2</sup> )	42.74	20.18	27.73
Factor rasgado	100 gf / (g m <sup>2</sup> )	16.67	18.33	16.67
Long. ruptura (tensión)	km	5.72	4.13	4.06
<i>Freeness</i>	ml	450	390	320



**Figura 3.** Pasto y comportamiento de la celulosa de pasto Caña Africana a los 120, 150 y 200 dds.

En esta variedad se observa un incremento del porcentaje de vara y disminución de la parte tierna y hoja conforme se incrementa el tiempo de cosecha (Cuadro 5). En general, bajo contenido de Fibra. Así mismo, los *Freeness* y blancuras obtenidas son bajas.

**Cuadro 5.** Parámetros de calidad pulpa cocida, celulosa blanqueada y Bauer Mc Nett del pasto Caña Africana a los 120, 150 y 200 días después de la siembra.

Indicadores evaluados a la planta completa (tallo-hoja-cogollo)	Unidad de medida	Días después de la siembra		
		120	150	200
Humedad	%	82.40	67.70	75.54
Consistencia	%	17.60	32.30	24.46
Relación fibra/polvillo	%	78.16/21.84	56.11/43.89	72.16/27.84
Solidos solubles	%	36.59	26.37	24.53
Arena	%	0.75	0.041	0.60
Vara	%	24.58	34.63	71.14
Parte tierna	%	28.69	14.72	4.94
Hoja	%	46.73	50.64	23.92
F.A.S. (con todo)	%	11.03	23.77	18.31
	Pulpa cocida			
Rendimiento pulpa cocida	%	48.87	51.04	44.64
Factor de consumo		2.05	1.96	2.24

Rechazo	%	0.666	0.341	0.260
N° de permanganato (pulpa depurada)	ml	7.5	11.4	9.7
<i>Freeness</i> (pulpa depurada)	ml	140	320	130
Blancura (pulpa depurada)	%	40.2	30.06	29.99
Celulosa blanqueada				
Blancura inicial	%	79.7	73.16	74.84
Blancura neta	%	76.5	70.07	73.093
Regresión		3.2	3.1	1.7
Área sucia	ppm	30	25	3.3
Opacidad	%	75.38	82.48	72.13
Bulk	cc/g	2.26	2.36	1.82
F. explosión	(gf m <sup>2</sup> ) / (g m <sup>2</sup> )	58.78	25.97	36.73
Factor rasgado	100 gf / (g m <sup>2</sup> )	13.33	17.5	18.33
Long. ruptura (tensión)	km	5.65	4.27	6.23
<i>Freeness</i>	ml	230	310	170

### CONCLUSIONES

La var. Taiwán fue la que presentó un mejor comportamiento en los indicadores para la producción de fibra y celulosa. La utilización de tallos de pasto Taiwán, es una alternativa para la producción de celulosa y papel, siempre y cuando cuenten con una edad entre 150 a 180 días después de la siembra. El rendimiento de biomasa total estimada en campo fue similar en las tres variedades de *Pennisetum* en las tres fechas de corte.

### LITERATURA CITADA

- Abe, K. y H. Yano. 2009. Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose* 16(6), 1017-1023.
- Adel, A.M., Z.H.A. El-Wahab, A.A. Ibrahim y M.T. Al-Shemy. 2011. Characterization of microcrystalline cellulose prepared from lignocellulosic materials. Part II Physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers* 83(2), 676-687.
- Angelini, L.G., L. Ceccarini y E. Bonari. 2005. Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *European Journal of Agronomy*, 22, 375–389. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.05.004>.
- Angelini, L.G., L. Ceccarini, N. Nassi o Di Nasso y E. Bonari, E. 2000. Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 33, 635–643.
- Bajpai, P. 2012. Brief description of the pulp and paper making process. In: *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*, Springer, 7-14.
- Balea, A., C. Negro, N. Merayo, C. Campano, A. Blanco, M. Delgado-Aguilar y P. Mutjé. 2016. Celulosa nanofibrilada y su papel en la industria papelera. *Industria Química* 32, 58-63.
- Capellán-Pérez, I., M. Mediavilla, C. de Castro, O. Carpintero y L.J. Miguel. 2014. Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socioeconómicos: Un enfoque integrado. Recuperado de [http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2014/09/Capellanetal2014/09/Capellanetal2014\\_esp.pdf](http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2014/09/Capellanetal2014/09/Capellanetal2014_esp.pdf).
- Chaker, A., P. Mutjé, M.R. Vilar y S. Boufi. 2014. Agriculture crop residues as a source for the production of nanofibrillated cellulose with low energy demand. *Cellulose* 21(6), 4247-4259.

- Falasca, S., M.N. Flores y G. Galvani. 2011. ¿Puede usarse una especie invasora como *Arundo donax* (caña común) con fines energéticos en Argentina? Recuperado de <http://ebookbrowse.net/file-name-inta-arundo-donax-con-finesenergeticos-en-argentina-pdf-d314127398>.
- Fernando, O.D. 1978. Análisis químico cuantitativo. Décima edición. Editorial Porrúa, S.A. México, D.F. 422 p.
- Ferrer, A., E. Quintana, I. Filpponen, I. Solala, T. Vidal, A. Rodriguez, J. Laine y O.J. Rojas. 2012. Effect of residual lignin and heteropolysaccharides in nanofibrillar cellulose and nanopaper from wood fibers". *Cellulose* 19(6), 2179-2193.
- Fontoura, C.F., L.E. Brandão y L.L. Gomes. 2015. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? *Journal of Cleaner Production*, 96, 85-93.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4ªed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Hoc, M. 2010. The phenomenon of lintering in newsprint printing - Literature review. *Innventia Report No.:* 107, NRP47. September 2010.
- Lahtinen, P., S. Liukkonen, J. Pere, A. Sneck y H. Kangas. 2014. A Comparative study of fibrillated fibers from different mechanical and chemical Pulps. *Bioresources* 9(2), 2115-2127.
- Li, M., L.J Wang, D. Li, Y.L. Cheng and B. Adhikari. 2014. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers* 102, 136-143.
- McLaughlin, S., J. Bouton, D. Bransby, B. Conger, W. Ocumpaugh, D. Parrish and S. Wullschleger. 1999. Developing switchgrass as a bioenergy crop. En J. Janick (Ed). *Perspectives on new crops and new uses Alexandria, VA: ASHS Press.* pp. 282–299.
- Ra, K., F. Shiotsu, J. Abe y and S. Morita. 2012. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. *Biomass and Bioenergy*, 37, 330–334.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industries (TAPPI) Useful method 3. 2010. Determination of useful fiber in bagasse.