

y Arundo donax en cosechas sucesivas a uno y dos años de crecimiento, para la elaboración de pasta celulósica y papel

García Gómez, M.M.¹, García Domínguez, J.C.¹, Pérez Muñoz, A.¹, Alfaro Martínez, A.², López Baldovín, F.^{1*}

¹Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Huelva.

²Departamento de Ciencias Agroforestales. Universidad de Huelva.

Prosopis, Retama monosperma, Phragmites and Arundo donax Species Valoration for Pulp and Paper Production in One and Two Year Harvest

Prosopis, Retama monosperma, Phragmites i Arundo donax en collites successives a un i dos anys de creixement per a l'elaboració de pasta cel·lulósica i paper

Recibido: 22 de noviembre de 2007; revisado: 10 de abril de 2008; aceptado: 28 de abril de 2008

RESUMEN

Se evalúa la aptitud de ciertas especies regeneradoras de terrenos degradados: *Prosopis* (variedades: *alba* y *juliflora*), *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax*, para la fabricación de pastas celulósicas y hojas de papel, mediante un proceso de pasteo organosolv alcalino. Se caracterizan y comparan las materias primas, pastas celulósicas y hojas de papel, para cosechas de un año (más rebrotes de un año de edad, después de haberlas cortado al año) y dos años de crecimiento.

Las especies *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax* muestran potencialidad para su aprovechamiento industrial, en cosechas de corta rotación, para la obtención de pastas celulósicas y papel. Los números kappa de las pastas de 2º año están entre 10,3 y 12,6, con números de tracción entre 13,7 y 20,9 kNm·kg⁻¹ en las pastas sin refinar. Sin embargo la explotación industrial de las dos variedades de *Prosopis* precisaría su adecuación a tiempos de explotación más largos, que los estudiados en este trabajo.

Palabras clave: *Arundo donax*. *Retama monosperma*. *Prosopis*. *Phragmites*. Organosolv alcalino. Pasta celulósica.

SUMMARY

Five vegetables species helping to the recovery of already degraded grounds (*Prosopis -alba* and *juliflora* varieties, *Retama monosperma*, *Phragmites* and *Arundo donax*) were tested for pulp and papermaking by using an organosolv-alkaline process.

Raw materials, cellulosic pulps and paper sheets were characterized and compared in one and two year harvest and the sprouts again of the plant after the first year cut.

The results confirms the feasibility of organosolv yield pulping process to *Retama monosperma*, *Phragmites* and *Arundo donax*. Kappa numbers are between 10.3 and

12.6 for pulps from second year harvest and the results for tensile index between 13.7 and 20.9 kNm/kg in pulps without beating. However the industrial exploitation of the two varieties of *Prosopis* require longer operating times, which studied in this work.

Key words: *Arundo donax*. *Retama monosperma*. *Prosopis*. *Phragmites*. Organosolv alcalines. Cellulosic pulp.

RESUM

S'avalua l'aptitud de certes espècies regeneradores de terrenys degradats (*Prosopis* (varietats: *alba* i *juliflora*), *Retama monosperma*, *Phragmites* i *Arundo donax*) per a la fabricació de pastes cel·lulòsiques i fulls de paper mitjançant un procés de pastament organosolv alcalí. Es caracteritzen i comparen les matèries primeres, pastes cel·lulòsiques i fulls de paper per a collites d'un any (a més de rebrots d'un any d'edat, després d'haver-les tallat a l'any) i dos anys de creixement.

Les espècies *Retama monosperma*, *Phragmites* i *Arundo donax* mostren potencialitat per ser aprofitades industrialment, en collites de curta rotació, per a l'obtenció de pastes cel·lulòsiques i paper. Els números kappa de les pastes de segon any es troben entre 10,3 i 12,6, amb números de tracció entre 13,7 i 20,9 kN·m·kg⁻¹ en les pastes sense refinar. D'altra banda, l'explotació industrial de les dues varietats de *Prosopis* precisaria la seva adequació a temps d'explotació més llargs que els estudiats en aquest treball.

Mots clau: *Arundo donax*. *Retama monosperma*. *Prosopis*. *Phragmites*. Organosolv alcalí. Pasta cel·lulósica.

* Autor para Correspondencia. Dpto. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. Avda. 3 marzo s/n. - 21071 Huelva, España. Tfo.: 0034 959219988 - Fax: 0034 959219983 E-mail: baldovin@uhu.es

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas del siglo XX, el crecimiento de la demanda de papel, ha experimentado un notable aumento en la producción mundial de pastas celulósicas, llevando consigo que el consumo de madera sea de la misma magnitud que el de petróleo⁽¹⁾. Por ello, son muchos los trabajos de investigación centrados en la búsqueda de nuevas materias primas, como residuos agrícolas y cultivos de agroforestales alternativos, argumentando paliar problemas de deforestación. Hoy en día, dado el carácter mayoritariamente renovable de las plantaciones forestales industriales, la ventaja de cultivos alternativos a los tradicionales madereros hay que buscarla en aspectos como la intensificación de la producción de los cultivos, puesta en valor de terrenos agrícolas excedentes o marginales, regeneración de suelos degradados...etc.^(2,3) En el caso de la explotación no renovable de recursos naturales conlleva diversas problemáticas medioambientales. Una de ellas, general, pero acuciante en países desarrollados es la degradación de suelos, vía erosión acuosa o por viento, aparición de enfermedades por rotura del equilibrio biológico, decrecimiento de la cobertura vegetal, etc.⁽⁴⁾ Lógicamente, la solución más razonable sería realizar una explotación agroforestal sostenible. Si el daño está ya hecho, una alternativa de biorrestauración es la utilización de diversas especies vegetales leguminosas, capaces de fijar nitrógeno y ayudar así a esa restauración del suelo.

Por otro lado, desde hace algunos años, especialmente en la última década, el sector agrícola es consciente del gran desequilibrio que existe en la Unión Europea entre la oferta y la demanda, y de los graves problemas de excedentes alimentarios que padece. Este problema es especialmente preocupante ante la reciente ampliación de la Unión Europea. La salida a esta situación de crisis pasa por apoyarse fundamentalmente en utilizar productos de muy alta calidad que los haga competitivos y por dirigir la agricultura hacia utilidades no alimentarias⁽⁵⁾. Se han propuesto dos vías de salida a esta situación de crisis excedentaria⁽⁶⁾: El primer camino conduce a la elección de especies/variedades de crecimiento rápido y rentables, a través de programas de prospección, selección y mejora genética, que consiga la máxima producción tanto en cantidad como en calidad del producto final. Mientras que el segundo camino está orientado hacia el estudio de la viabilidad técnica y económica de la utilización de cultivos con fines no alimentarios (energía, papel, productos químicos, tableros, tejidos, etc.) que reduzcan los excedentes agroalimentarios de la Unión Europea y disminuya la importación de materia prima destinada usos no alimentarios.

Bajo estas premisas, puede encontrarse un valor añadido si las especies regeneradoras del suelo tienen alguna aplicación industrial como pudiera ser la fabricación de pasta celulósica y papel. Una ventaja añadida serían los cortos períodos de producción en comparación con las especies madereras tradicionales, bien por tener un crecimiento más rápido bien por el aprovechamiento de sucesivas podas anuales^(7,8).

Por otro lado, es sabido que el sector industrial de la pasta celulósica y papel es el principal consumidor de la materia prima maderera en el mundo. Aproximadamente el 35 % de la madera se destina a papel o productos análogos, previniéndose un incremento continuado y cercano al 50 % en 2010. En países como Estados Unidos y la Unión Europea es cada vez más importante la presión ecologista para la reducción de este consumo lo que podría impulsar un fuerte desarrollo de materias primas no convencionales en la fabricación de pasta y papel⁽⁹⁾. Refiriéndose aquellas tanto a vegetales de procedencia silvestre como de plantaciones, así como los residuos generados en las labores agrícolas y forestales.

Estudios realizados por la FAO, previenen que en los próximos años haya un incremento del consumo de pastas papeleras procedentes de especies no madereras a escala mundial. Para el año 2010 podría alcanzarse un máximo de un 11 % sobre la producción total de pasta de papel⁽¹⁰⁾. Actualmente el método más utilizado en la fabricación de pasta celulósica es el proceso kraft. Este sistema como contrapartida genera inconvenientes medioambientales, como por ejemplo la generación de compuestos de azufre. Para evitar estos problemas, se buscan alternativas a los sistemas convencionales de pasteo, como son los procesos organosolv que se pueden encuadrar dentro de las denominadas tecnologías limpias, que minimizan residuos y emisiones⁽¹¹⁾. Estos procesos organosolv tienen, entre otras ventajas su buen aprovechamiento de las materias primas, consiguiendo un alto rendimiento en las pastas⁽¹²⁾. En este trabajo se evalúa la explotación de cinco especies vegetales: *Prosopis* (variedades: *alba* y *juliflora*), *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax*, cultivadas en suelos degradados, para la obtención de pastas celulósicas mediante un método organosolv alcalino. Se caracterizan y comparan las materias primas, pastas celulósicas y hojas de papel en cosechas de uno y dos años de crecimiento y rebrotes de un año de edad después de haberlas cortado cuando tenían un año.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Análisis de la materia prima, pastas celulósicas y hojas de papel

Se determinaron las longitudes y diámetros de fibra de las distintas materias primas. Para las distintas materias primas y las pastas obtenidas de ellas, se determinaron las características químicas: el contenido de solubles al 1 % en NaOH (Norma TAPPI T212 om-98), extraíbles en etanol-benceno (Norma TAPPI T204 cm_97), solubles en agua caliente (Norma TAPPI T207 cm-93), holocelulosa (Método de Wise *et al.*, 1946⁽¹³⁾), lignina (Norma TAPPI T222 om-98), α -celulosa (Norma Tappi T203 om-93).

Para caracterizar las pastas se calcula: el rendimiento, número kappa (Norma TAPPI T236 cm-85) y viscosidad (TAPPI T230 om 82).

Las características físicas de las hojas de papel que se determinan son: gramaje (Norma TAPPI T220 sp-96), índice de tracción (Norma TAPPI T494 om-96), índice de estallido (Norma TAPPI T403 om-97) e índice de desgarro (Norma TAPPI T414 om-98)

2.2. Producción de pastas y formación de hojas de papel

Las pastas se obtienen en un reactor Berghof cilíndrico de 1 litro de capacidad, calentado mediante resistencias eléctricas cuyo fin es calentar el vaso metálico que contiene la materia prima y las lejías de cocción: relación etanol/agua (30 %V/V), 21 % de álcali activo, 0,05 % de concentración de antraquinona, 185 °C, 1 hora de procesado y relación líquido/sólido de 8/1. El reactor está provisto de un sistema de control, formado por un módulo que registra la temperatura alcanzada por la camisa metálica y la temperatura en el interior del digestor a través de los diferentes termopares. Asimismo dispone de un manómetro en el que se indica la presión alcanzada y de diversas válvulas de seguridad. Las astillas se introducen en el digestor junto con las lejías de cocción. Posteriormente se calienta a una temperatura durante un tiempo determinado. Una vez separada la pasta de las lejías negras mediante una malla, se somete a un lavado con agua del grifo, se desintegra a 2500 rpm, con una cantidad de agua equivalente a las lejías de cocción.

La preparación de las pastas para la formación de las hojas de papel, se realiza desintegrando 30 g de pasta en un desintegrador durante 20 minutos a 1500 rpm, añadiéndole agua suficiente hasta alcanzar una consistencia del 1,5%. Las hojas de papel se fabrican en un formador de hojas ENJO-F-39.71. Una vez obtenidas se comprimen en una prensa modelo PR.03(402), para reducir la humedad de las hojas de ensayo de papel fabricadas en el formador de hojas. Para secar definitivamente las hojas de papel de ensayo, se utiliza una serie de placas y aros secadores en condiciones ambientales estandarizadas, una temperatura de 23 °C y 50 % HR de Humedad ambiental (Norma T 205 sp-95).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla I aparecen los resultados de caracterización física y química de las 5 materias primas estudiadas. Además, en la tabla I se comparan los contenidos en lignina, holocelulosa y α -celulosa de dichas materias primas cosechadas al 1° año (más rebrotes) y 2° año. Se compara con los resultados de caracterización de *Eucalyptus globulus*⁽¹⁴⁾.

Arundo donax presenta, con diferencia, la mayor longitud de fibra (1,16-1,18 mm) de entre las especies estudiadas y mayor de 1 mm, valor superior a la longitud de fibra de eucalipto (0,7-1,3 mm)⁽¹⁵⁾. Las siguientes especies en cuanto a longitud de fibra son *Phragmites* (0,81 a 0,85 mm) y *Retama monosperma* (0,63-0,70 mm). Las dos variedades de *Prosopis* presentan valores sustancialmente inferiores e incluso más bajos que los de algunos de los materiales con menor longitud de fibra de entre los propuestos en la bibliografía para la obtención de pastas celulósicas y papel como los sarmientos de vid (0,77 mm)⁽¹⁶⁾, aunque otros auto-

res encuentran valores de hasta 0,7 mm para *Prosopis juliflora*⁽¹⁷⁾, lo que indica la importancia de la zona de recolección, condiciones de cultivo, tiempo de crecimiento, etc. En cualquier caso, ninguna de las especies estudiadas en este trabajo, llegan a alcanzar los valores que presentan las especies madereras de fibra larga (coníferas)(2,7-4,6 mm)⁽¹⁵⁾, así como las especies no leñosas «textiles», tales como el sisal, yute o abacá^{(18, 19) (14, 15)}.

Retama monosperma presenta, el contenido más elevado en holocelulosa de entre las especies estudiadas, para ambas cosechas (71,8-78,7 %), seguidas por *Phragmites* (64,2-73,9 %) y *Arundo donax* (65,9-70,2 %), y un poco más rezagadas del resto aparecen las dos variedades de *Prosopis* (59,7-63,6 %). Para todas estas especies, la relación α -celulosa/hemicelulosa es superior a 1,2. Esta relación es importante debido al papel que juegan las hemicelulosas en la fabricación de papel⁽²⁰⁾. Todos estos resultados son similares a los obtenidos por otras especies no madereras como, la paja de trigo⁽²¹⁾, tallos de algodón⁽²²⁾, podas de olivo⁽²³⁾ entre otras.

En la Tabla I puede observarse que los contenidos en holocelulosa y α -celulosa son superiores en el segundo año de cosecha para especies como *Arundo donax*, *Phragmites* y *Retama monosperma*. Sin embargo para las dos variedades de *Prosopis* sucede lo contrario, siendo superiores en el primer año de cosecha en vez de en el segundo. En cuanto al contenido en lignina, hay una disminución, entre un 8,3 % (*Prosopis alba*) y un 14,8 % (*Retama monosperma*) para las cosechas del segundo año a excepción de un leve aumento para el *Prosopis juliflora* con un 2,0 %.

En cuanto a los contenidos en sustancias solubles en sosa al 1 % y agua caliente, y sustancias extraíbles en mezclas alcohol-benceno presentan un decremento en las cosechas de 2° año respecto a las del 1° año (más rebrotes) en las 5 especies estudiadas. Ello debería repercutir sobre el rendimiento en pasta celulósica, en el que efectivamente,

TABLA I
Caracterización físico-química de las materias primas.

	Longitud de fibra (mm.)	Solubles en NaOH al 1 % (%)	Extraíbles en etanol-benceno (%)	Solubles en agua caliente (%)	Holocelulosa (%)	Lignina (%)	α -celulosa (%)
1° Año (1) + Rebrotos (1+1)							
<i>Prosopis alba</i>	0,56	25,3	7,0	4,7	63,6	19,3	41,5
<i>Prosopis juliflora</i>	0,52	22,6	5,3	6,5	62,8	20,6	36,5
<i>Retama monosperma</i>	0,63	16,9	5,0	3,8	71,8	21,5	42,7
<i>Phragmites</i>	0,81	34,8	6,4	5,4	64,2	25,1	35,8
<i>Arundo donax</i>	1,16	26,8	7,3	6,0	65,9	22,3	40,5
2° Año (2)							
<i>Prosopis alba</i>	0,57	20,9	4,7	4,6	60,4	17,7	36,7
<i>Prosopis juliflora</i>	0,52	20,8	3,3	3,9	59,7	21,0	35,9
<i>Retama monosperma</i>	0,70	13,8	4,2	2,7	78,7	18,3	44,8
<i>Phragmites</i>	0,85	27,9	3,5	3,1	73,9	23,7	44,3
<i>Arundo donax</i>	1,18	25,8	4,5	4,7	70,2	20,1	42,3
<i>Eucalyptus Globulus</i>	1,3*				72,6**	22,9**	46,6**

** López, F. et al., 2005⁽¹⁵⁾

** Parajó et al., 2004⁽²⁴⁾

se comprueba en todos los casos, excepto para el *Prosopis juliflora*, que presenta unos rendimientos en pasta celulósica levemente superiores con el material cosechado al 2º año de crecimiento.

Las especies como *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax* muestran una tendencia clara al desarrollo fibrilar del 1º al 2º año. No solo por el incremento de la longitud de fibra, sino por la evolución de los contenidos (tabla I) en holocelulosa, α -celulosa (aumentan) y lignina (disminuye). Ello apuntaría la hipótesis de su posible aprovechamiento industrial en cosechas de corta rotación. Dicha evolución apenas existe o es contradictoria en el caso de las dos variedades de *Prosopis*.

Pese a que las dos variedades de *Prosopis* aparecen como las especies menos adecuadas de las estudiadas para la obtención de pasta celulósica y papel, hay que reseñar su posible adecuación en tiempos de explotación más largos, consiguiéndose contenidos en α -celulosa superiores al 54 %⁽²³⁾.

En la tabla II, se muestra la caracterización química de pastas celulósicas obtenidas a partir de las cinco especies estudiadas en las cosechas de un año (más rebrotes) y dos años, mediante un método organosolv alcalino. Dado el carácter químico del proceso de pasteo elegido, con un elevado porcentaje de álcali activo, se han obtenido niveles, prácticamente despreciables de contenidos en extra-

TABLA II

Caracterización química de las pastas celulósicas obtenidas a partir de las materias primas.

	Solubles al 1 % en NaOH (%)	Extraíbles en etanol-benceno (%)	Solubles en agua caliente (%)	Holo-celulosa (%)	Lignina (%)	α -celulosa (%)
1º Año (1) + Rebrotos (1+1)						
<i>Prosopis alba</i>	4,5	0,4	0,8	94,3	2,9	82,7
<i>Prosopis juliflora</i>	4,6	0,5	1,4	98,1	0,2	83,6
<i>Retama monosperma</i>	2,0	0,4	0,7	96,1	0,7	84,5
<i>Phragmites</i>	5,1	1,0	1,3	95,1	1,9	80,2
<i>Arundo donax</i>	3,7	1,1	0,5	95,0	1,3	81,0
2º Año (2)						
<i>Prosopis alba</i>	5,1	0,3	1,7	91,7	0,5	79,0
<i>Prosopis juliflora</i>	4,82	0,5	1,2	91,9	1,1	80,4
<i>Retama monosperma</i>	1,2	0,3	1,1	96,9	2,0	85,1
<i>Phragmites</i>	2,8	0,5	0,9	95,3	1,3	80,1
<i>Arundo donax</i>	4,5	0,3	0,6	95,3	0,3	82,5

TABLA III

Propiedades químicas de pastas celulósicas y físicas de las hojas de papel.

	Rendimiento (%)	η _{intrínseco} (cm ³ /g)	Nº kappa	I. tracción (kNm/kg)	I. desgarró (Nm ² /kg)	α -celulosa (MN/m ²)
1º Año (1) + Rebrotos (1+1)						
<i>Prosopis alba</i>	32,4	471	13,8	13,5	0,65	0,404
<i>Prosopis juliflora</i>	36,8	630	13,2	16,8	0,25	0,271
<i>Retama monosperma</i>	41,6	667	12,0	11,5	0,21	0,488
<i>Phragmites</i>	40,7	1040	12,1	17,7	1,10	0,731
<i>Arundo donax</i>	42,0	1227	18,7	12,0	1,41	0,650
2º Año (2)						
<i>Prosopis alba</i>	37,2	675	15,6	13,3	0,66	0,384
<i>Prosopis juliflora</i>	36,3	451	19,1	11,7	0,48	0,267
<i>Retama monosperma</i>	44,0	679	10,8	13,7	0,99	0,634
<i>Phragmites</i>	44,5	1437	10,3	20,9	1,75	0,977
<i>Arundo donax</i>	42,3	1359	12,6	14,1	1,64	0,553

íbles en alcohol-benceno, agua caliente y contenido en lignina, siendo la composición de la pasta mayoritariamente holocelulosa.

En la tabla II, aparecen reflejados los valores de los incrementos o decrementos en los contenidos en holocelulosa y α -celulosa para las diferentes pastas celulósicas obtenidas en las diferentes cosechas, observándose una evolución similar con el tiempo, al obtenido para la materias primas (tabla I), es decir, un aumento del primer año de cosecha al segundo, excepto para el *Phragmites*, que sufre una ligera disminución en el contenido en α -celulosa.

En la tabla III aparecen los resultados de algunas propiedades de las pastas celulósicas; número kappa, viscosidad y rendimiento, junto con las propiedades físicas de las hojas de papel según la especie utilizada en cosechas de uno (más rebrotes) y dos años.

Los números kappa varían entre 10,3 (*Phragmites* en la cosecha del 2º año) y 18,7 (*Arundo donax* en la cosecha del 1º año (más rebrotes)). Para las dos variedades de *Prosopis* hay un aumento en los números kappa de las pastas celulósicas procedentes de la cosecha del segundo año, con respecto al primer año. Sin embargo, para el resto de las especies estudiadas en este trabajo, ocurre al contrario. Es el mismo efecto que se observa en el caso de los contenidos en lignina para la materia prima (tabla I).

Las viscosidades obtenidas para el *Arundo donax* (1227-1359 cm³/g) y *Phragmites* (1040-1437 cm³/g), son con diferencia superiores al resto de las especies estudiadas en este trabajo, ya que en ningún caso llegan a superar valores de 680 cm³/g. En la tabla III, se muestra la evolución de los resultados de las viscosidades de las especies a uno y dos años de cosecha, coincidiendo con la evolución del contenido en holocelulosa de la materia prima, con lo que resulta congruente.

Phragmites en la cosecha del segundo año, presenta los mejores desarrollos en las características físicas de las hojas de papel; índice de tracción (20,9 kNm/kg), índice de desgarro (1,75 Nm²/kg) e índice de estallido (0,977 MN/m²).

4. CONCLUSIONES

Los parámetros físico-químicos evaluados para las especies estudiadas en este trabajo, muestran un aumento en la longitud de fibra, contenidos en holocelulosa y α -celulosa, y una disminución del contenido en lignina, para las cosechas del 1º al 2º año de crecimiento, de especies como *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax*. Ocurriendo lo contrario para las dos variedades de *Prosopis*. El estudio confirma la viabilidad del proceso organosolv alcalino, utilizado para las cinco especies estudiadas, mejorando notablemente la deslignificación, y obteniendo niveles prácticamente despreciables de contenidos en extraíbles en alcohol-benceno, solubles en sosa al 1 % y agua caliente, siendo por tanto, la composición de la pasta celulósica mayoritariamente holocelulosa (91,7-98,1 %).

En cuanto la caracterización física de las hojas de papel, la especie que presenta los mejores resultados, es el *Phragmites* de la cosecha del segundo año.

Las especies *Retama monosperma*, *Phragmites* y *Arundo donax* muestran potencialidad para su aprovechamiento industrial, en cosechas de corta rotación, para la obtención de pastas celulósicas y papel. Los números kappa de las pastas de 2º año están entre 10,3 y 12,6, con índices de tracción entre 13,7 y 20,9 de las pastas sin refinar. Sin embargo la explotación industrial de las dos variedades de *Prosopis* precisaría su adecuación a tiempos de explotación más largos, que los estudiados en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer el soporte económico del Grupo Empresarial ENCE, S.A. (Factoría de San Juan del Puerto. Huelva) y de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología del Gobierno Español y los Fondos Europeos para el Desarrollo CICYT-FEDER por los Proyectos CTQ2004-06564-C0404/PPQ y CTQ2006-10329. Al Ministerio de Educación y Ciencia por su financiación en el programa Ramón y Cajal.

BIBLIOGRAFÍA

- (1). Roncero, B. Obtención de una secuencia «TCF» con la aplicación de ozono y enzimas, para el blanqueo de pastas madereras y de origen agrícola. Optimización de la etapa Z. Análisis de los efectos en la fibra celulósica y sus componentes. Tesis Doctoral E.T.S.I.T. Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.
- (2). García, M.M. Vegetales alternativos a los agroalimentarios de usos múltiples para la obtención de pastas celulósicas mediante tecnologías limpias. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva, 2008.
- (3). Caparrós, S. Fraccionamiento integral de vegetales no alimentarios para la obtención de pasta para papel y subproductos. Tesis Doctoral. Universidad de Huelva, 2008.
- (4). ICRAF. International Centre for Research in Agroforestry. Soil fertility degradation in sub-Saharan Africa: Leveraging Lasting Solutions to a Long-Term Problem. Conclusions from a Workshop held at the Rockefeller Foundation Bellagio Study and Conference Centre. March Monterrey, Mexico, pp. 10-15, 2002.
- (5). Fernández, J. Los cultivos energéticos. Jornadas sobre cultivos alternativos no alimentarios, pp: 5-17. Finca de la Orden, Badajoz, Junta de Extremadura. 26-27 noviembre, 1996.
- (6). Montero de Espinosa, J. De los antiguos sacos, al papel. El kenaf: nuevas posibilidades para las vegas del Guadiana. *Albear*, 3, 30-39, 1993.
- (7). Oggiano, N.; Angelini, L.G. and Cappelletto, P. Pulping and paper properties of some fibre crops. *Ind. Crops Prod.*, 7, 1, 59-67, 1997.
- (8). Kauter, D.; Lewandowski, I. and Claupeina, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use. A review of the physiological basis and management influences. *Biomass Bioenergy*, 24, 6, 411-427, 2003.
- (9). Alaejos, J.; López, F. y Eugenio, M.E. Utilización de materias primas no madereras para la obtención de pastas celulósicas. Revisión bibliográfica. *Afinidad*, 61, 513, 400-410, 2004.
- (10). PULP AND PAPER CAPACITIES, 2004-2009. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). Rome, 2005.
- (11). Jiménez, L.; Pérez, I.; García, J.C.; López, F.; Ariza, J. The influence of the ethanol pulping of wheat straw and of the beating of pulp on the resulting paper sheets. *Wood Science and Technology*, 38 (2): 127-137, 2004.
- (12). Rodríguez Pascual, A. y Jiménez, L. Pasteado con disolventes orgánicos. Cap. 9. p 189-214. En: Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales. Ed. Gráficas Sol, Ecija, Sevilla, 2005.
- (13). Wise, L.E.; Marphy, M.; D'Adieco, M. Chlorite holocelulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and on studies on the hemicelluloses. *Paper Trade Journal*, 122 (2), 35-43, 1946.
- (14). Garrote, G.; Eugenio, M.E.; Díaz, M.J.; Ariza, J. and López, F. Hydrothermal and pulp processing of eucalyptus. *Wood. Bioresources Technology*, 88, 61-68 (2003).

⁽¹⁵⁾. López Baldovín, F.; Alaejos Gutiérrez, J. y Jiménez, L. Materias primas. Cap. 2. p 25-48. En: Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales. Ed. *Gráficas Sol*, Ecija, Sevilla, 2005.

⁽¹⁶⁾. Jiménez-Alcaide, L.; López-Baldovín, F. and Ferrer-Herranz, J.L. Evaluation of agricultural residues for paper manufacture. *TAPPI J.*, 76, 169-173. 1993.

⁽¹⁷⁾. Gomes, A.V. and De Muñiz, G.I.B. Wood structure and ultrastructure of *Prosopis caldemia*, *P. chilensis* and *P. juliflora* and influence of ecological factors. Pp. 195-216. In: The Current State of Knowledge on *Prosopis juliflora*. Eds M.A. Habit and J.C. Saavedra. FAO, Rome, Italy, 1990.

⁽¹⁸⁾. García-Hortal, J.A.; García-Dominguez, J.C. y Jiménez, L. Caracterización morfológica de las materias primas. Cap. 4, 71-96. En: Pastas celulósicas de materias primas alternativas a las convencionales. Ed. *Gráficas Sol*, Ecija, Sevilla, 2005.

⁽¹⁹⁾. Alaejos, J.; López, F.; Eugenio, M.E. y Fernández, M. Utilización de materias primas no madereras para la obtención de pastas celulósicas. Revisión bibliográfica. *Afinidad*, 61, 513, 400-410, 2004.

⁽²⁰⁾. Cordeiro, N.; Belgacem, M.N.; Torres, I.C. and Mourand, J.C.V.P. Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. *Ind. Crop. Prod.*, 19, 2, 147-154, 2004.

⁽²¹⁾. Sun, R.C. and Tomkinson, J. Separation and characterization of cellulose from wheat straw. *Sep. Sci. Technol.*, 39, 2, 391-411, 2004.

⁽²²⁾. Díaz, M.J.; Eugenio, M.E.; López, F. and Alejos, J. Paper from olive tree residues. *Ind. Crop. Prod.*, 21, 2, 211-221, 2005.

⁽²³⁾. Marangoni, A. and Alli, I. Composition and properties of seeds and pods of the tree legume *Prosopis juliflora* (DC). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 44, 99-110, 1988.

⁽²⁴⁾. Parajó, J.C.; Garrote, G.; Gray, J.M. Production of xylooligosaccharides by autohydrolysis of lignocellulosic material. *Trends in Food Science & Technology*, 15 (3-4), 115-120, 2004.