
Capítulo 7

Blanqueo TCF de Pasta de Paja de Trigo: Aplicación de la Secuencia Obtenida

RESUMEN

La secuencia TCF XOAZRP hallada en los estudios realizados hasta el momento con pasta de eucalipto, ha sido aplicada en pasta de paja de trigo. Después de cada etapa de blanqueo se han determinado las propiedades de la pasta (índice kappa, viscosidad estándar, viscosidad al borohidruro y blancura) y de los efluentes. Posteriormente las pastas se han refinado en un molino PFI a 1000 revoluciones y se han determinado las propiedades físicas del papel comparándolas con las obtenidas con la pasta de eucalipto en el capítulo anterior. Pese a algunos inconvenientes, la pasta de paja de trigo puede blanquearse según esta secuencia TCF, obteniéndose propiedades finales de la pasta muy aceptables.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención del papel, las fibras de origen agrícola fueron utilizadas para la fabricación del papel. Hace poco más de un siglo que la industria papelera empezó a usar la madera como materia prima. De hecho, es la materia prima preferida, debido a su relativo bajo costo, a la disponibilidad de grandes cantidades, a la menor presencia de material no fibroso, a la obtención de una pasta mucho más uniforme y a su mejor comportamiento en el proceso de fabricación. No obstante, en los últimos años ha habido un incremento importante en la demanda de papel. La FAO (Food and Agriculture Organization) ha pronosticado un incremento a nivel mundial del consumo anual de papel y cartón que irá desde los 210 millones de toneladas en 1988 a alrededor de los 350 millones de toneladas para el año 2010 (GIOVANNOZZI-SERMANNI *et al.*, 1997). Este continuo aumento de la demanda de papel puede causar, a nivel mundial, una insuficiencia en el suministro de fibras madereras. La actual producción anual de pasta no podrá hacer frente la demanda, que sigue creciendo drásticamente. Esto conduce a un progresivo aumento de la escasez de materia prima maderera y a una gradual deforestación en algunas áreas del planeta

(SABHARWAL y YOUNG, 1996; JIMÉNEZ *et al.*, 1997(a)). Una posible solución a este problema puede ser la utilización de fibras de origen agrícola.

Se estima que anualmente se producen más de 2900 millones de toneladas de pajas de cereales en el mundo. Gran parte de estos residuos se queman, dando lugar a una pérdida de energía así como a una contaminación importante y no permitida en muchos países. Por lo tanto su utilización sería muy interesante desde un punto de vista económico y medioambiental. En 1970, la capacidad mundial de producción de pasta de papel a partir de fibra no maderera fue de sólo el 6,7% del total. Desde entonces ha habido un incremento importante. En 1993, aumentó a 10,6%. Se estima que el incremento de la capacidad de producción de pasta no maderera llegue a ser dos veces el incremento de pasta maderera (ATCHINSON, 1995; GIOVANNOZZI-SERMANNI *et al.*, 1997).

Asimismo, las fibras de origen agrícola constituyen una materia prima alternativa a la utilización de madera, debido a su gran tasa de crecimiento y adecuación a diferentes suelos, contribuyendo además a evitar las deforestaciones incontroladas que presentan serios problemas ecológicos y a eliminar un problema de contaminación del aire provocado por la quema de los residuos de las cosechas.

Uno de los principales problemas que presenta este tipo de materia prima es la baja calidad del papel obtenido a partir de ella comparado con las madereras. Esto es debido principalmente a que poseen un gran contenido en material no fibroso. Por ejemplo, las pastas de paja de trigo contienen aproximadamente un 50% en fibras, siendo el resto elementos no fibrosos tales como células de parénquima de pared delgada (30%), vasos cilíndricos y anillados (5%) y aglomerados de células epidérmicas (15%). Otro inconveniente es la difícil recuperación de las lejías de cocción debido a su alto contenido en sílice (SEISTO *et al.*, 1997). Aún así, la paja de trigo parece ser la más adecuada para la fabricación de papel entre las pajas de cereales (HAMILTON y LEOPOLD, 1969; GARCÍA HORTAL, 1988; JIMÉNEZ y LÓPEZ, 1993; WATSON *et al.*, 1998).

Por tanto, como materia prima no maderera se ha escogido la paja de trigo, ya que es un residuo abundante y localizado en zonas no muy extensas y porque en principio parece que proporciona pasta con mejores características que otros residuos agrícolas abundantes como los tallos de girasol, viña, podas de olivo, etc.

Debido a este nuevo interés en fibras de origen agrícola, en los últimos años han aparecido diferentes investigaciones basadas principalmente en el estudio de las diversas posibilidades de cocción de estas materias primas (HAMILTON y LEOPOLD, 1969; HELMY, 1993; ADKULKARIM *et al.*, 1994; YILMAZ, 1995; CAO y LEE, 1996; MONTANE *et al.*, 1996; RICHTER *et al.*, 1996; GIOVANNOZZI-SERMANNI *et al.*, 1997; SEISTO *et al.*, 1997; JIMÉNEZ *et al.*, 1997(a), 1997(b) y 1998; USTA *et al.*, 1999). Sin embargo, la documentación existente relacionada con el estudio del blanqueo de dichas fibras y en concreto de paja de trigo es escasa (PEKAROVICOVA *et al.*, 1994; EL-SAKHAWY *et al.*, 1996; LELE *et al.*, 1998; Spiridon *et al.*, 2000; JIMÉNEZ *et al.*, 2000).

En este capítulo se aplica en pasta de paja de trigo, la secuencia TCF XOAZRP hallada en los anteriores capítulos y que se ha aplicado en pasta de madera de eucalipto. Debido a la peculiar morfología de la pasta de paja, es de esperar que se deban hacer algunos cambios en las condiciones de las etapas de blanqueo para conseguir buenas propiedades finales. También se realiza el refinado de la pasta y por tanto el estudio de las propiedades físicas que pueden obtenerse de los papeles fabricados con pasta de paja de trigo blanqueada según una secuencia TCF.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

La materia prima empleada en este capítulo ha sido pasta a la sosa de paja de trigo (*Triticum sativum*) suministrada por la Universidad de Córdoba, con las siguientes características:

Índice kappa: 11,3

Blancura: 42% ISO

Viscosidad: 896 mL/g

Secuencia de blanqueo

La secuencia de blanqueo TCF aplicada es la XOAZRP, que es la secuencia que dio lugar a mejores resultados finales en el estudio realizado en los anteriores capítulos. Donde:

X: Pretratamiento enzimático con xilanasas.

O: Deslignificación con oxígeno.

A: Aditivo con ácido oxálico.

Z: Blanqueo con ozono.

R: Tratamiento reductor con borohidruro sódico.

P: Blanqueo con peróxido de hidrógeno.

Las condiciones de los diferentes estadios de blanqueo se muestran en la Tabla 7-I. El equipo y metodología utilizados para la realización de las diferentes etapas de blanqueo se especifican en el Capítulo 2 (Materiales y Métodos).

Indicar que existen algunas diferencias en las condiciones de aplicación con respecto al capítulo anterior, que serán comentadas en el apartado de resultados y discusión.

Caracterización de las pastas y de los efluentes

Para la caracterización de las pastas se han determinado el índice kappa, la blancura y la viscosidad, según normativa ISO. También se ha medido la viscosidad al borohidruro (2% NaBH₄, 30 min., temperatura ambiente, 5% consistencia). Para la caracterización de los efluentes se han determinado la demanda química de oxígeno (DQO) y el Color, según

normas ASTM. Todas estas propiedades se han medido después de cada estadio, con objeto de poder observar la evolución de las mismas durante el proceso de blanqueo.

Tabla 7-I

Condiciones de las diferentes etapas de blanqueo (X, O, A, Z, R y P) de la secuencia XOAZRP aplicada en pasta de paja de trigo

Etapa	X	O	A	Z	R	P
Temperatura, °C	60	110	Amb.	Amb.	Amb.	85
Tiempo, min	120	60	720	-	60	180
Consistencia, % s.p.s.	10	10	10	40	10	10
Dosis enzima, EXU/kg	500	-	-	-	-	-
Presión O₂, MPa	-	0,6	-	-	-	-
Dosis Ác. oxálico, % s.p.s.	-	-	2,5	-	-	-
Concentración O₃ entrada, mg/L	-	-	-	35	-	-
Caudal O₃/O₂, LN/h	-	-	-	180	-	-
Dosis O₃ consumido, % s.p.s.	-	-	-	0,5	-	-
Dosis NaBH₄, % s.p.s.	-	-	-	-	0,5	-
Dosis Na₂CO₃, % s.p.s.	-	-	-	-	1	-
Dosis H₂O₂, % s.p.s.	-	-	-	-	-	3
Dosis NaOH, % s.p.s.	-	1,5	-	-	-	1,8
Dosis MgSO₄·7H₂O, % s.p.s.	-	0,5	-	-	-	0,2
pH inicial	6 - 9	-	-	-	-	-

Refino y propiedades físicas de los papeles.

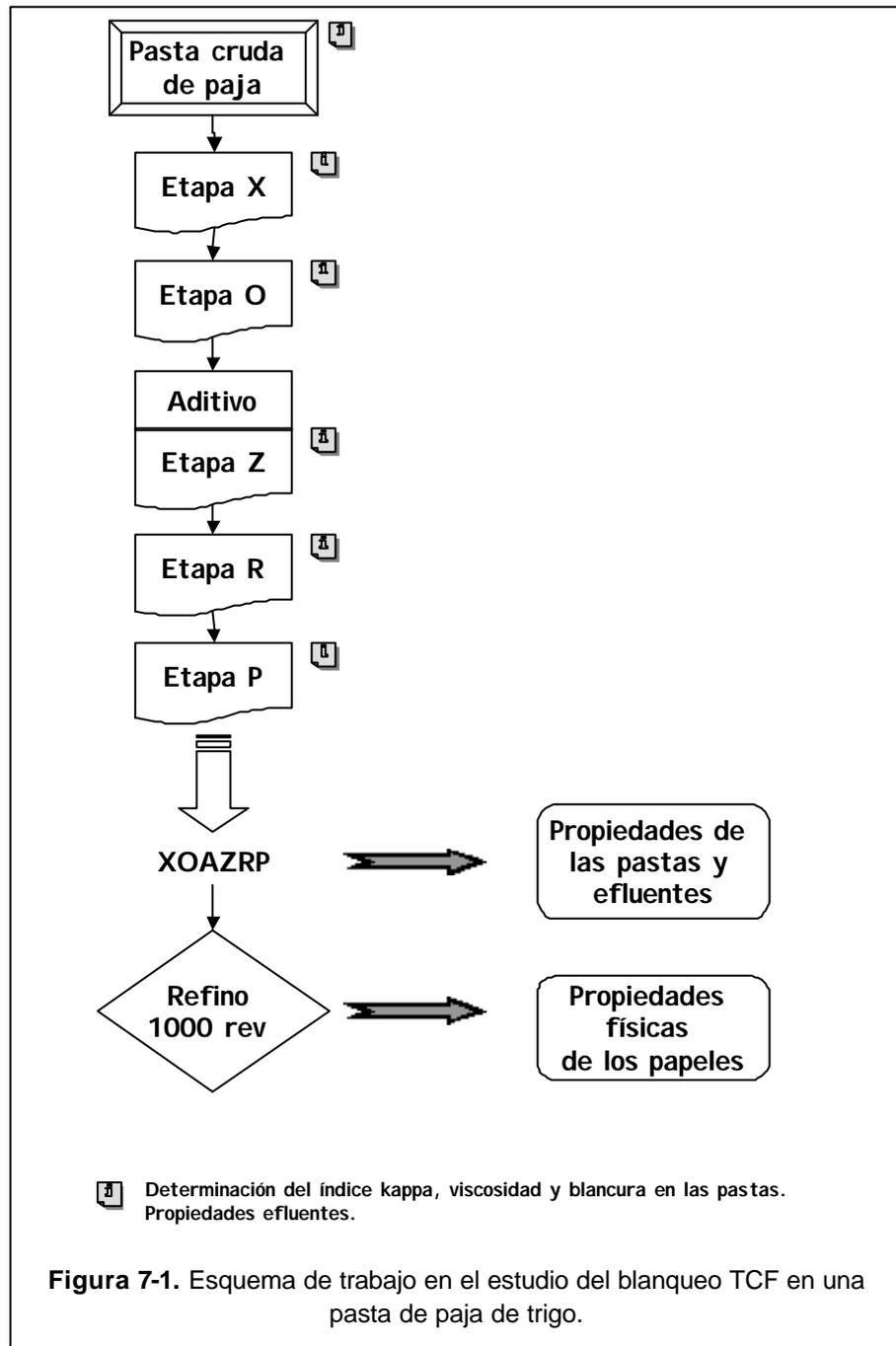
La pasta XOAZRP se refinó a 1000 revoluciones mediante un molino PFI y se midieron la resistencia al desgote de la pasta ($^{\circ}$ SR), el índice de retención de agua (IRA) y la longitud de la fibra. Con las pastas sin refinar y refinada se realizaron 10 hojas con el fin de determinar su gramaje, espesor y volumen específico, así como las siguientes propiedades físicas de los papeles: permeabilidad Bendtsen, índice de tracción, resistencia al plegado, índice de desgarro y índice de estallido, según normativa (ver Capítulo 2). De las medidas obtenidas se realizó el tratamiento de resultados discrepantes mediante la prueba de Grubbs (GRUBBS y BECK, 1972) con objeto de dar resultados más fiables.

La Figura 7-1 muestra el esquema de trabajo seguido en este capítulo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En un primer ensayo con la pasta de paja, se aplicaron las condiciones de las etapas de blanqueo de la secuencia XOAZRP utilizada en el Capítulo 6 (Tabla 6-I) en la pasta de eucalipto. Comparando los resultados de ambas pastas se observó que la disminución de la

viscosidad era muy similar (≈ 250 unidades), obteniéndose una viscosidad final en la paja de 680 mL/g (debe tenerse en cuenta que en la paja partimos de un viscosidad inferior a la de eucalipto). Sin embargo, la blancura obtenida con la paja fue únicamente de 76,6% ISO a diferencia del 90% ISO que se obtuvo con la pasta de eucalipto, lo que no resulta muy alentador si además tenemos en cuenta que la blancura inicial de la paja es de 42% ISO y la del eucalipto 35,3% (casi 7 puntos más).



Con el propósito de conseguir una mayor blancura final, manteniendo siempre la viscosidad, se realizaron algunos ensayos variando algunas de las condiciones de las etapas de blanqueo. Finalmente, los cambios efectuados fueron los siguientes:

- Como se observó una cierta dificultad en conseguir el pH deseado en la aplicación del aditivo, la dosis de ácido oxálico tuvo que ser incrementada del 2% al 2,5%. Además, para asegurar una buena impregnación de la pasta, se mantuvieron las condiciones de aplicación del aditivo durante 12 horas.
- Se incrementó la dosis de ozono del 0,4 al 0,5% en la etapa Z, y la dosis de peróxido de hidrógeno del 2 al 3% en la etapa P, puesto que se conseguía un aumento importante de la blancura con una ligera disminución de la viscosidad, en comparación con las dosis inferiores.

Las condiciones finalmente aplicadas se muestran en la Tabla 7-I y los resultados de las propiedades de la pasta medidas después de cada etapa de blanqueo aparecen en la Tabla 7-II.

Resulta interesante indicar el comportamiento de este tipo de pasta durante el blanqueo. La pasta de paja tiene un tacto muy viscoso además de que su lavado y filtrado resulta muy difícil. Conforme se avanza en la secuencia de blanqueo, se consigue filtrar mejor y va perdiendo la textura viscosa. Se supone que este comportamiento y aspecto es debido al porcentaje elevado de material no fibroso presente en este tipo de materia prima de origen agrícola.

Tabla 7-II

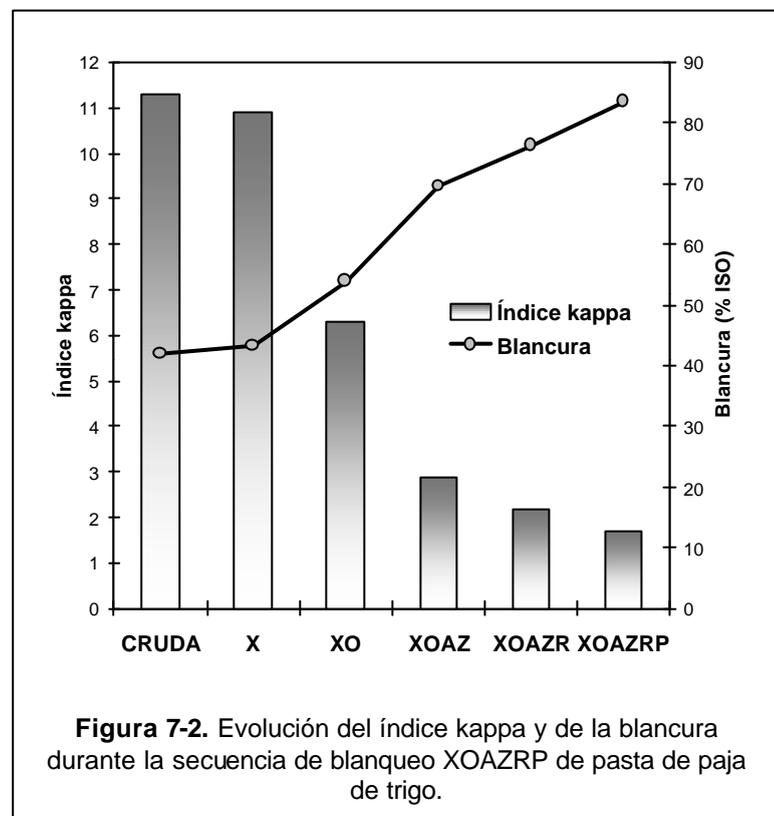
Propiedades de las pastas después de cada etapa de blanqueo de la secuencia XOAZRP aplicada en pasta de paja de trigo

	pH final	Indice kappa	Blancura (% ISO)	Viscosidad (mL/g)	Viscosidad B* (mL/g)	Peróxido residual (%)
CRUDA	-	11,3	42	896	907	-
X	8,5	10,9	43,3	924	924	-
XO	10,5	6,3	53,9	931	935	-
XOA	2,4	-	-	-	-	-
XOAZ	-	2,9	69,6	724	833	-
XOAZR	10,5	2,2	76,2	813	821	-
XOAZRP	12,3	1,7	83,5	617	626	0,01

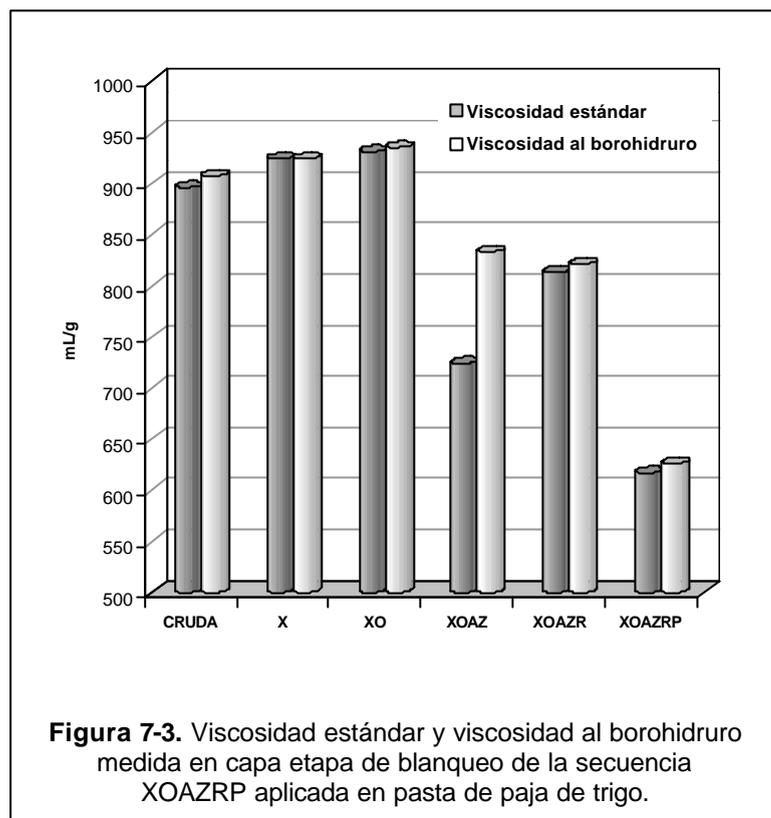
* Viscosidad al borohidruro.

Discusión de las propiedades de la pasta: índice kappa, blancura y viscosidad.

La Figura 7-2 muestra la evolución del índice kappa y de la blancura durante la secuencia de blanqueo. Como era de esperar, el índice kappa disminuye a medida que la blancura aumenta hasta el 83,5% ISO, valor que resulta muy interesante para este tipo de pasta no maderera, debido a su dificultad en ser blanqueada. EL-SAKHAWY *et al.* (1996) en sus estudios de paja de trigo, consiguieron una blancura máxima de 80,9% ISO con una secuencia ODED. Se señala pues el interés de este dato puesto que además de conseguir una mayor blancura, ésta es obtenida mediante una secuencia TCF, por tanto, un proceso más ecológico y menos contaminante.



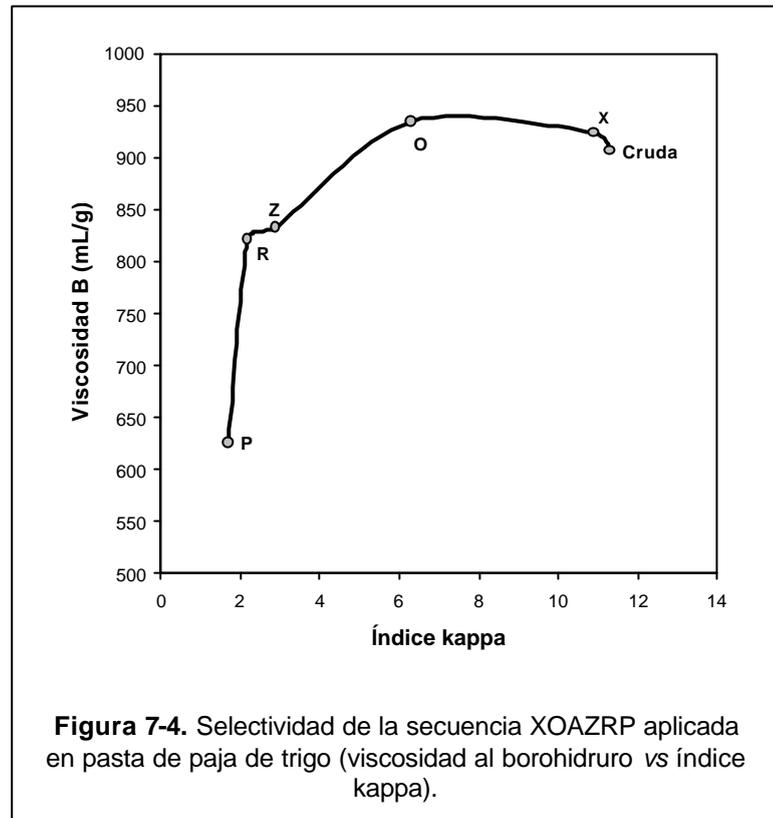
En la Figura 7-3 se presentan los valores de viscosidad estándar y viscosidad al borohidruro medidos después de cada estadio, observándose que ambas viscosidades son muy similares en todas las etapas de blanqueo excepto en el blanqueo con ozono. Esta diferencia de viscosidad (≈ 100 unidades) es debida a la gran cantidad de grupos carbonilo que se forman durante la etapa Z, cuestión que ya se ha estudiado y comentado en los Capítulos 3 y 6 y que de también se evidencia en este tipo de materia prima.



La Figura 7-4 muestra la selectividad del proceso: evolución de la viscosidad respecto al índice kappa. Evidentemente, la viscosidad disminuye a medida que disminuye el índice kappa. Pero lo que llama la atención es la disminución drástica de la viscosidad con sólo una ligera variación del índice kappa que tiene lugar durante la etapa P. Después de la etapa R, la blancura es de 76,2% ISO y la viscosidad de 821 mL/g. Con la etapa P se consigue un incremento de la blancura de 7,3 puntos pero la viscosidad disminuye 200 unidades, lo que no resulta ser selectivo ni corriente en este estadio. En el caso del eucalipto (Capítulo 6, Tabla 6-III) el incremento de blancura en la etapa P es de 12,5 puntos mientras que la viscosidad únicamente disminuye 50 unidades. Además, se observa que con la paja se consume prácticamente todo el peróxido de hidrógeno (3%) mientras que en el eucalipto el consumo es 50% del 2% aplicado.

EL-SAKHAWY *et al.* (1996) y PEKAROVICOVA *et al.* (1994) también comentan la poca selectividad de la etapa P en este tipo de materia prima no maderera, de manera que el peróxido de hidrógeno parece ser menos adecuado que otros reactivos para el blanqueo de estas fibras. PEKAROVICOVA *et al.* (1994) atribuyen la poca actuación del peróxido posiblemente al elevado contenido de iones metálicos y por tanto a la necesidad de un estadio quelante anterior a la etapa P.

Resumen, con la secuencia TCF XOAZRP, se puede obtener una blancura de 83,5% ISO, pero sería conveniente e interesante optimizar la etapa P, con el fin de disminuir la degradación de la celulosa y obtener una mayor viscosidad.



Discusión de las propiedades de los efluentes: DQO y Color.

En la Tabla 7-III se muestran los valores de DQO y Color de los efluentes después de cada estadio de blanqueo de la secuencia XOAZRP aplicada en la paja y de la misma secuencia aplicada en eucalipto (Capítulo 6, Tabla 6-IV).

Como puede observarse, tanto la DQO como el Color son superiores en la pasta de eucalipto, siendo un 15,4% mayor en el caso de la DQO y casi 4 veces superior en el caso del Color.

La DQO en la etapa enzimática (X) es casi la mitad en el caso de la paja, posiblemente debido a una menor efectividad o actuación de la enzima en este tipo de pasta, aun siendo pastas con elevado contenido en pentosanos (HAMILTON y LEOPOLD, 1969; GARCÍA HORTAL, 1988). El resto de estadios son más o menos similares, excepto en la etapa P, donde se tiene un elevado valor de DQO en la paja en comparación con el eucalipto, que es debido a

la considerable degradación que se produce durante este estadio en la pasta de paja, lo que provoca una eliminación de hidratos de carbono.

El Color de los efluentes de las etapas X y O es considerablemente inferior en la pasta de paja en comparación con la de eucalipto. E incluso el del estadio O es superior al X en la paja, contrariamente al eucalipto. Esto puede ser debido a que de hecho el porcentaje de deslignificación en la pasta de eucalipto es superior al de la paja, indicando que en el efluente de la primera hay más lignina disuelta contribuyendo más en el color del efluente.

Tabla 7-III
Propiedades de los efluentes (DQO y Color) de la
secuencia XOAZRP en paja y eucalipto

		PAJA (XOAZRP)	EUCALIPTO (XOAZRP)
DQO (kg O₂/t pasta)	X	22,8	41,5
	O	31,8	33,2
	A	5,1	3,6
	R	6,2	13,3
	P	14,4	1,1
	TOTAL	80,3	92,7
Color (kg Pt/t pasta)	X	1,8	21,8
	O	6,1	19,8
	A	1,3	0,3
	R	1,2	1,4
	P	1,2	0
	TOTAL	11,5	43,3

Refino y medición de las propiedades físicas.

Una vez blanqueada la pasta se realizó el refino pero únicamente a 1000 revoluciones, basándose en anteriores investigaciones realizadas en el laboratorio de la Especialidad Papelera y Gráfica (CASANOVAS, 1998), en los que se observó que la pasta de paja desarrolla las propiedades físicas fácilmente.

Los resultados de las propiedades físicas de la pasta de paja blanqueada refinada y sin refinar se muestran en la Tabla 7-IV. Estos valores se comparan con los obtenidos en la pasta de eucalipto con la misma secuencia XOAZRP (Capítulo 6, Tabla 6-VI).

Un detalle que se ha observado en la formación de las hojas de ensayo de pasta de paja es que las de la pasta no refinada presentaban una formación de hoja defectuosa con presencia de agregados. Con el refinado se mejoraba la formación de la hoja, eliminándose prácticamente los agregados que posiblemente eran debidos a la presencia de material no celulósico.

Tabla 7-IV

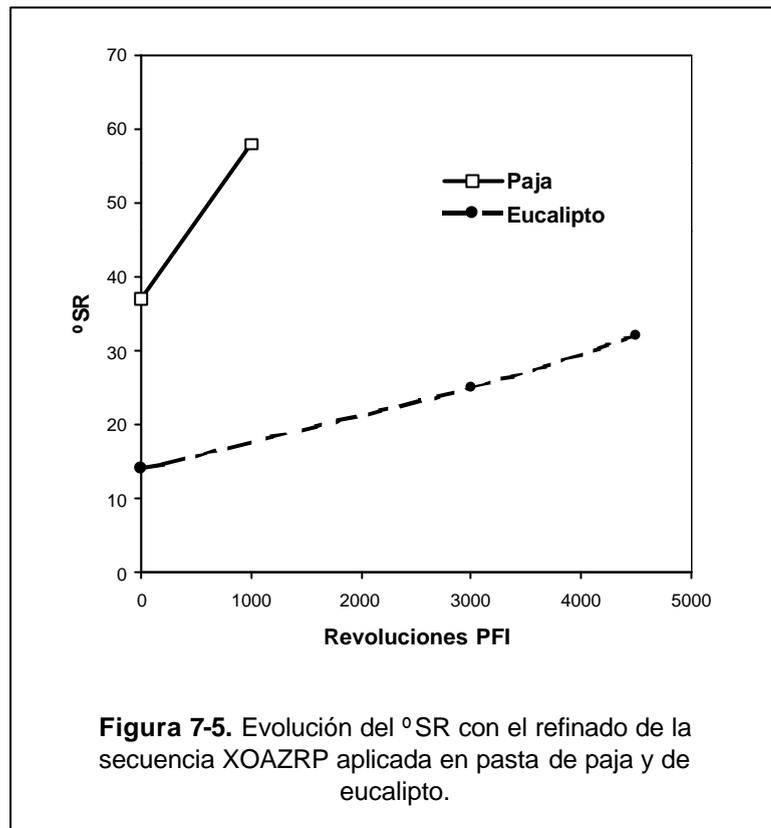
Propiedades físicas de la secuencia XOAZRP aplicada en pasta de paja de trigo

	Rev.	°SR	Energía (W·h)	IRA (%)	l* (mm)	Gramaje (g/m ²)	Espesor (mm)
XOAZRP	0	37	-	136	0,34	67,4	165
	1000	58	13	162	0,36	67,5	121
	VE** (cm ³ /g)	Permeabilidad Bendsen (µm/Pa·s)	Indice Tracción (N·m/g)		Resist.	Plegado	
XOAZRP	2,45	3,50 ± 0,11	36,0 ± 2,3		2,56 ± 0,195		
	1,79	0,48 ± 0,03	58,5 ± 3,2		3,14 ± 0,049		
	Indice Desgarro (mN·m ² /g)		Indice Estallido (kN/g)				
XOAZRP	8,70 ± 0,20		2,25 ± 0,072				
	6,20 ± 0,16		3,90 ± 0,093				

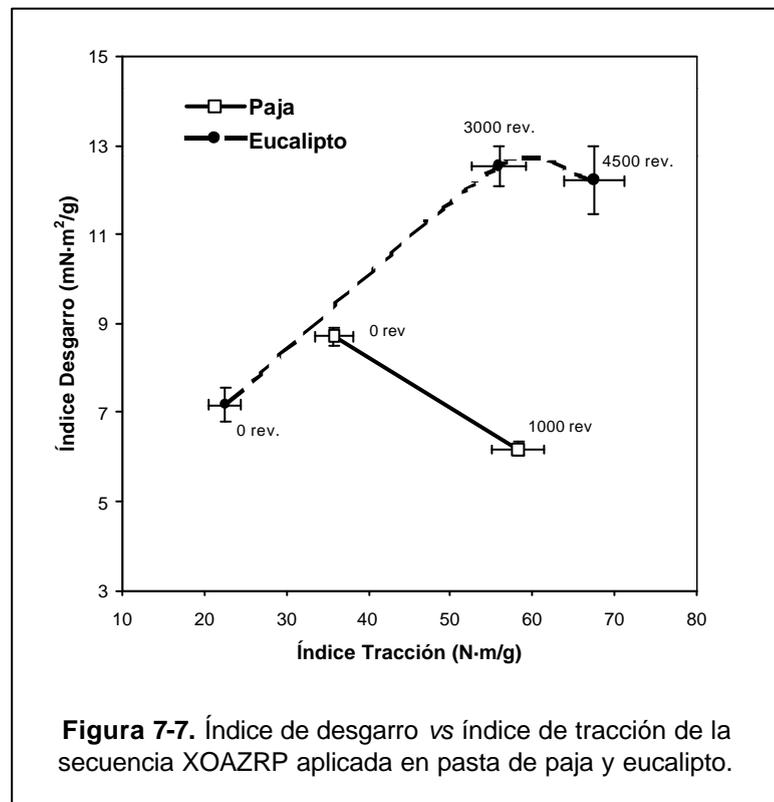
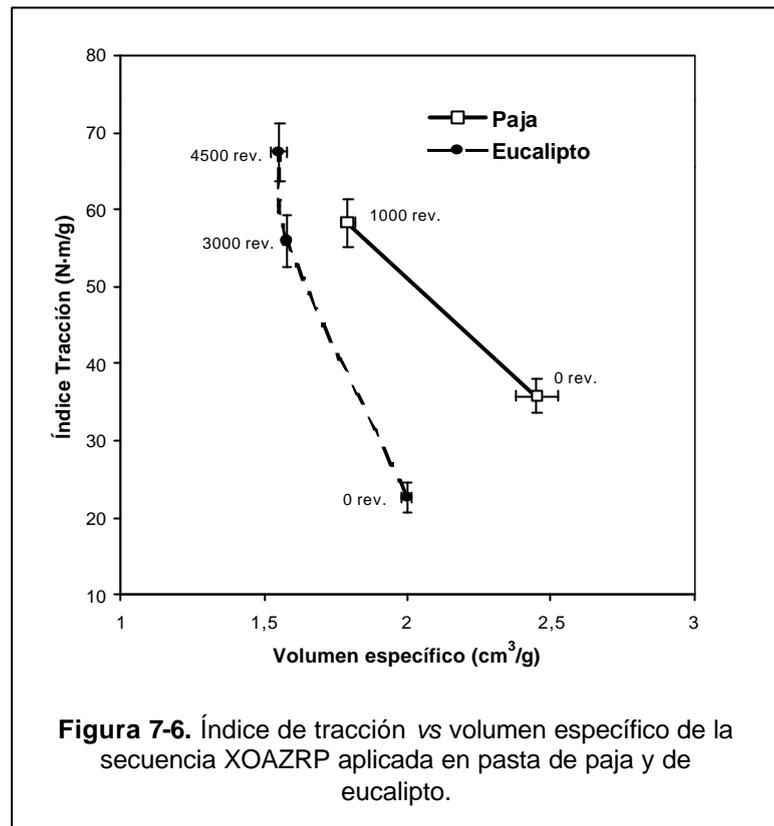
IC: Intervalos de confianza de la propiedad medida, con un nivel de confianza del 95%;

* Longitud media aritmética de fibra; ** Volumen específico

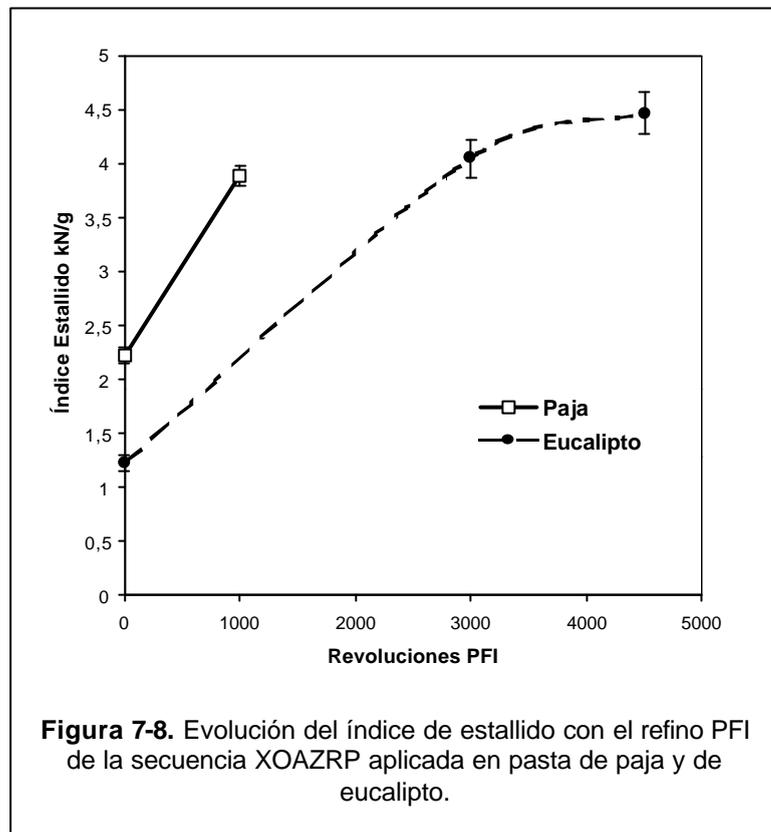
En la Figura 7-5 se muestra la evolución del °SR en el refinado mediante molino PFI de las pastas de paja y de eucalipto. Se observa que a igualdad de revoluciones la pasta de paja presenta un mayor °SR. El incremento de °SR para la paja es de 21 unidades con sólo 1000 rev. PFI y un consumo de energía de 13 W·h, mientras que para el eucalipto el incremento es de 11 unidades pero con 3000 rev. PFI y un consumo de 38 W·h, lo que corrobora la facilidad de refinado de la pasta de paja. El IRA de la pasta de paja también es superior al obtenido con la pasta de eucalipto para las mismas revoluciones PFI. Este fenómeno es debido al mayor contenido en finos y en hemicelulosas que presentan las pastas de origen no maderero (HAMILTON y LEOPOLD, 1969; GARCÍA HORTAL, 1988; ZHAO *et al.*, 1992; SEISTO *et al.*, 1997; SPIRIDON *et al.*, 2000).



La Figura 7-6 representa el volumen específico frente el índice de tracción de la pasta de paja y de eucalipto, observándose el mismo comportamiento en ambas pastas, es decir, con el refinado se incrementa la resistencia a la tracción mientras que el volumen específico disminuye. Sin embargo debe destacarse que en la pasta de paja únicamente se necesitan 1000 revoluciones PFI para conseguir el mismo índice de tracción que se obtiene con la pasta de eucalipto a 3000 revoluciones. No obstante, aunque es más fácil de obtener una mayor resistencia a la tracción en la pasta de paja, no ocurre lo mismo con la resistencia al desgarro (Figura 7-7). En el eucalipto, el índice de desgarro aumenta al principio del refinado, mientras que en la paja disminuye. La fibrilación externa de la fibra que se produce durante el refinado junto con la longitud de fibra, tienen mucha influencia en la propiedad de desgarro, siendo ésta mayor cuanto mayor es la fibrilación externa y menor cuanto menor es la longitud de la fibra. Según ZHAO *et al.* (1992) y SEISTO *et al.* (1997) durante el refinado las fibras de paja no sufren una fibrilación externa y sí en cambio una gran formación de finos. Esto explicaría el porqué de una disminución del índice de desgarro en este tipo de pasta.

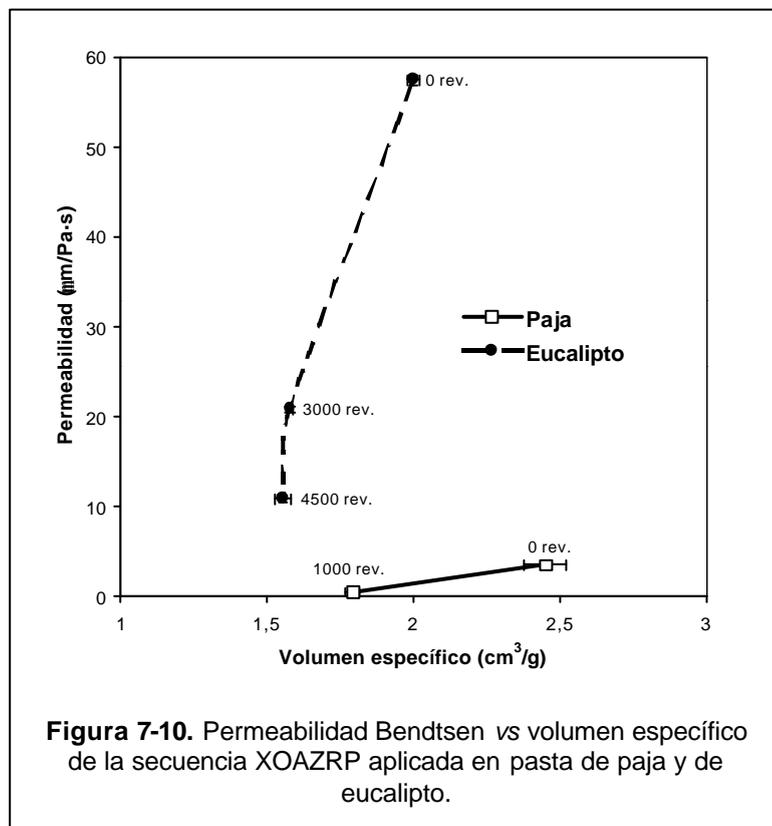
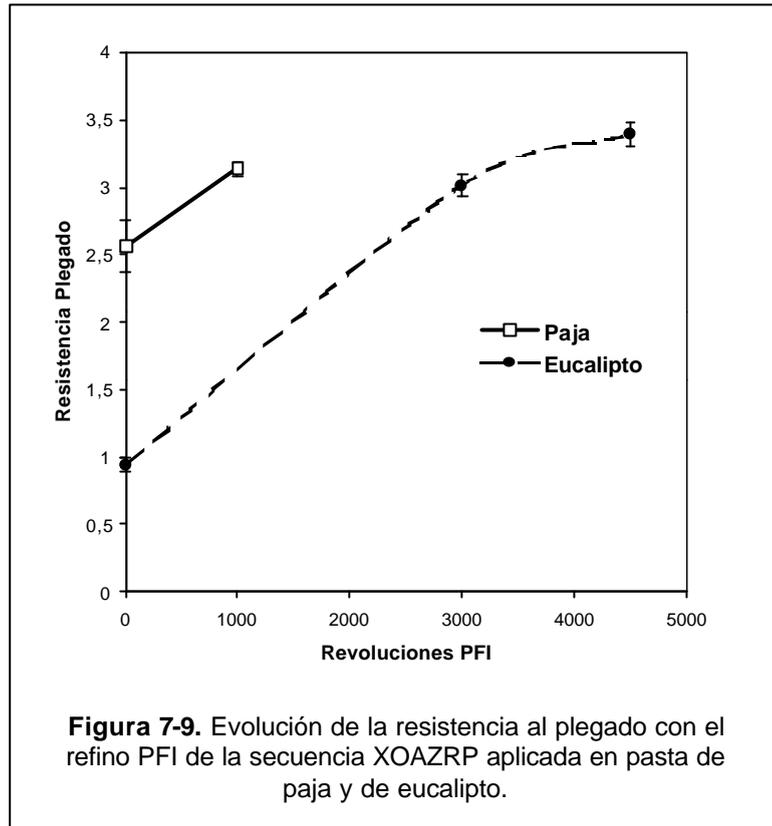


En cuanto al índice de estallido (Figura 7-8) y la resistencia al plegado (Figura 7-9) ocurre lo mismo que con la resistencia a la tracción. Con la paja se necesita menos refinado para conseguir unas resistencias al estallido y al plegado similares a las obtenidas con el eucalipto.



La propiedad más diferenciada entre la pasta de paja y la de eucalipto es la permeabilidad al aire. La Figura 7-10 muestra los valores de permeabilidad frente al volumen específico de ambas pastas. Con el refinado, ambas propiedades decrecen, siendo esta disminución más pronunciada en el caso del eucalipto. Sin embargo, a igualdad de volumen específico, la permeabilidad de la pasta de paja es mucho menor a la de eucalipto. Este comportamiento puede estar igualmente relacionado con la gran cantidad de finos y otros elementos no fibrosos que presenta la pasta de paja, que obturarían los poros de la hoja haciéndola mucho menos permeable.

En general, se observa que las propiedades físicas de la paja son más fáciles de obtener que las de eucalipto. Pero lo que sí debe tenerse en cuenta es el posible problema que puede presentar la paja en cuanto a su difícil drenabilidad, lo que daría lugar a serios problemas en el proceso de fabricación de papel. Otro posible inconveniente es su baja estabilidad dimensional, que puede provocar una deformación de la hoja frente a cambios de humedad y temperatura (SEISTO *et al.*, 1997).



Se han comparado también, las propiedades físicas de la pasta de paja obtenidas en este estudio con la bibliografía consultada (EL-SAKHAWY *et al.*, 1996; SAIKIA *et al.*, 1997; SEISTO *et al.*, 1997), observándose que los resultados son muy similares y están dentro de un mismo rango, a excepción de la resistencia a la tracción que es ligeramente inferior en nuestro caso y la resistencia al desgarro bastante superior, lo cual se podría justificar por la diferencia en el proceso de blanqueo.

CONCLUSIÓN

En este estudio se ha blanqueado pasta de paja de trigo según la secuencia XOAZRP estudiada en el capítulo anterior y, posteriormente, se ha refinado y medido las propiedades físico-mecánicas de las hojas de ensayo obtenidas a partir de la pasta blanqueada.

Las dosis de ácido oxálico, de ozono y de peróxido de hidrógeno de las etapas A, Z y P respectivamente, fueron incrementadas con el fin de obtener una mayor blancura final, siendo ésta de 83,5% ISO, valor que resulta de gran interés teniendo en cuenta la dificultad de esta materia prima para ser blanqueada.

Un detalle que se ha observado en la secuencia TCF aplicada, es la baja selectividad de la etapa P para este tipo de materia prima, que podría ser debido a un elevado contenido de cationes metálicos. Esta considerable degradación que se produce en el estadio P se ve reflejada en una elevada DQO en el efluente. Sería pues interesante el estudio de la optimización del blanqueo con peróxido de hidrógeno en pasta de paja con el fin de disminuir la degradación de celulosa que se produce durante el mismo, no siendo sin embargo, el objetivo de estudio de esta tesis.

En cuanto a las propiedades de los efluentes, se obtienen menores valores de DQO y de Color en comparación con la misma secuencia aplicada en una pasta de eucalipto, principalmente en las etapas de pretratamiento enzimático y de deslignificación con oxígeno.

Medidas las propiedades físicas de la pasta de paja se observa su buena aptitud frente al refinado, ya que se necesitan menos revoluciones PFI para obtener similares valores de resistencia a la tracción, al estallido y al plegado que con la pasta de eucalipto. No ocurre lo mismo con el índice de desgarro; mientras que en el caso del eucalipto se produce un aumento importante al principio del refinado, en el caso de la paja se produce una disminución, debido probablemente a una menor fibrilación externa además de su menor longitud de fibra, en comparación con el eucalipto.

También existe una diferencia importante en los valores de permeabilidad entre ambas pastas, teniendo la paja valores mucho menores al eucalipto, lo que puede estar relacionado con el elevado contenido en finos que poseen las pastas de origen agrícola. Estos finos contribuirían al cierre de la hoja haciéndola mucho menos permeable.

Los inconvenientes más importantes que puede presentar la pasta de paja son su difícil drenabilidad y secado durante el proceso de fabricación del papel y su baja estabilidad dimensional.

En conclusión, pese a algunos inconvenientes, la pasta de paja de trigo puede blanquearse siguiendo una secuencia TCF del tipo XOAZRP, dando lugar a aceptables propiedades finales de la pasta como propiedades físico-mecánicas de los papeles obtenidos con ella.

REFERENCIAS

- ABDULKARIM, L.A.; RAB, A.; POLYANSZKY, E.; RUSZANK, I. (1994). Optimization of process variables for production of dissolving pulps from wheat-straw and hemp. *Tappi Journal*, 77(6): 141-150.
- ATCHINSON, J.E. (1995). Nonwood fiber could play major role in future U.S. papermaking furnishes. *Pulp & Paper*, 70(7): 125-131.
- CAO, B.J.; LEE, Z.Z. (1996). The effects of hydrogen peroxide and anthraquinone on soda ash pulping of wheat-straw. *Holzforschung*, 50(1): 62-68.
- CASANOVAS, C. (1998). Relación entre el potencial Z y la retención durante la fabricación de papel a partir de pasta de paja. *Proyecto Final de Carrera*, ETSEIT-UPC, Terrassa, España.
- EL-SAKHAWY, M.; LÖNNBERG, B.; FAHMY, Y.; IBRAHIM, A.A. (1996). Organosolv pulping. 5. Bleachability and paper properties. *Cellulose Chemistry and Technology*, 30(5-6): 483-495.
- GARCÍA HORTAL, J.A. (1988). *Constituyentes Fibrosos de Pastas y Papeles*. España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, Universidad Politécnica de Cataluña.
- GIOVANNOZZI-SERMANNI, G.; CAPPELLETTO, P.L.; D'ANNIBALE, A.; PERANI, C. (1997). Enzymatic pretreatments of nonwoody plants for pulp and paper production. *Tappi Journal*, 80(6): 139-144.
- GRUBBS, F.E.; BECK, G. (1972). Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*, 4(4): 847-854.
- HAMILTON, F.; LEOPOLD, F. (1969). *Pulp and Paper Manufacture. Vol. 3. Secondary Fibers and Non-Wood Pulping*. 3ª ed. TAPPI Atlanta, USA; CPPA Montreal, Canada: The Joint Textbook Committee of the Paper Industry.
- HELMY, S.A. (1993). Dissolving pulps from Egyptian wheat-straw by the soda process. *Cellulose Chemistry and Technology*, 27(5): 513-517.

- JIMÉNEZ, L.; LÓPEZ, F. (1993). Characterization of paper sheets from agricultural residues. *Wood Science and Technology*, 27(6): 468-474.
- JIMÉNEZ, L.; DE LA TORRE, M.J.; MAESTRE, F.; FERRER, J.L.; PÉREZ, I. (1997(a)). Organosolv pulping of wheat straw by use of phenol. *Bioresource Technology*, 60: 199-205.
- JIMÉNEZ, L.; MAESTRE, F.; DE LA TORRE, M.J.; PÉREZ, I. (1997(b)). Organosolv pulping of wheat straw by use of metanol-water mixtures. *Tappi Journal*, 80(12): 148-154.
- JIMÉNEZ, L.; DE LA TORRE, M.J.; MAESTRE, F.; FERRER, J.L.; PÉREZ, I. (1998). Delignification of wheat straw by use of low-molecular-weight organic acids. *Holzforschung*, 52(2): 191-196.
- JIMÉNEZ, L.; NAVARRO, E.; GARCÍA, J.C.; PÉREZ, I. (2000). Bleaching of wheat straw pulp with enzymes in an oxygen-hydrogen peroxide sequence. *Tappi Journal*, 83 (11): 1-13.
- LELE, I.; FEJES, F.; KOVACS, I.; RUSZNAK, I.; CSISZAR, E. (1998). Straw pulp bleaching with singlet oxygen. *Cellulose Chemistry and Technology*, 32(5-6): 463-474.
- MONTANE, D.; JOLLEZ, P.; SALVADO, J.; FARRIOL, X.; CHORNET, E. (1996). Rapid soda pulping of wheat-straw by the impregnation rapid-steam-pulping process. *Tappi Journal*, 79(3): 253-260.
- PEKAROVICOVA, A.; JAMEEL, H.; JOICE, T.W. (1994). TCF bleaching of wheat straw organocell pulp. *Cellulose Chemistry and Technology*, 28: 551-561.
- RICHTER, V.; ORLANDINI, S.; CAOBIANCO, S.; SCOGNAMIGLIO, C.; LOPOPOLO, S.; GROSSI, B.; CAPRETTI, G.; FOCHER, B. (1996). Non-wood plant pulps. Morphology and papermaking properties. *Fourth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*. Stresa, Italy, p. 366-373.
- SABHARWAL, H.S.; YOUNG, R.A. (1996). International agro-fiber research initiative. *Tappi Journal*, 79(12): 66-67.
- SAIKIA, C.N.; GOSWAMI, T.; ALI, F. (1997). Evaluation of pulp and paper making characteristics of certain fast growing plants. *Wood Science and Technology*, 31(6): 467-475.
- SEISTO, A.; POPPIUS-LEVLIN, K.; JOUSIMAA, T. (1997). Peroxyformic acid pulping of nonwood plants by the MILOX method. Part 2: Reed pulp for woodfree fine papers. *Tappi Journal*, 80(10): 235-240.
- SPIRIDON, I.; POPA, V.I.; TALASMAN, C.; STANCIU, C. (2000). Obtaining of high-yield pulp from wheat straw by non-conventional processes. *Sixth European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*. Bordeaux, France. Poster Presentations, p. 607-610.
- USTA, M.; EROGLU, H.; KARAOGLU, C. (1999). Asam pulping of wheat-straw (*Triticum-Aestivum* L.). *Cellulose Chemistry and Technology*, 33(1-2): 91-102.

- WATSON, P.A.; BICHO, P.A.; STUMBORG, M.A. (1998). Wheat straw: a viable fibre source for Canada?. *Pulp & Paper Canada*, 99(12): T449-T452.
- YILMAZ, Y. (1995). Lime soda oxygen (Lso) pulping of wheat-straw. 1. Pulping. *Paperi Ja Puu – Paper and Timber*, 77(4): 206-208.
- ZHAO, X.; ÖDERG, L.; RISINGER, G. (1992). Beating of wheat-straw pulp: dissolved carbohydrates and lignins, fiber swelling, and fines generation. *Tappi Journal*, 75(1): 153-161.