

Artículo / Article



Obtención de celulosa blanqueada de *Ricinus communis* L. mezclada con fibra industrial para fabricar papel bond

Procurement of bleached *Ricinus communis* L. pulp mixed with industrial fiber for manufacturing bond paper

Teófilo Escoto García¹, Rosa Nallely Murillo Vázquez², Antonio Rodríguez Rivas¹, José Anzaldo Hernández¹ y J. Jesús Rivera Prado¹

Resumen

En este estudio se describe el procedimiento para obtener celulosa de *Ricinus communis* blanqueada y mezclada con fibra industrial para su evaluación e incorporación en la fabricación de papel bond. Se extrajo una muestra del tallo, se le descortezó y astilló; posteriormente, se aplicó el proceso alcalino para celulosa (sosa y Kraft). Mediante un modelo factorial, se determinó el número de Kappa y de viscosidad, y se llevó a cabo la evaluación físicoquímica de las pulpas al sulfato y a la sosa, así como de la industrial, denominadas fibra corta (FC) y fibra larga (FL). En la segunda etapa, se caracterizó la pulpa de la especie señalada y se le blanqueó con la secuencia OD (OP) D; enseguida, se aplicaron las variables de mezcla fibrosa (100, 80, 60, 40 y 20 %) y se calificó, de nuevo, para determinar la mejor. Los resultados indican que la celulosa de *R. communis* blanqueada por el proceso señalado y obtenida por medio de la cocción de alcalinos (sosa-Kraft), sí puede proponerse como componente fibroso del papel bond, acompañado de fibra larga en un intervalo de 40 a 80 %. Esto representaría una disminución en los costos de la fibra corta industrial (FC), y favorecería el aprovechamiento de una fuente fibrosa no convencional, clasificada como maleza vegetal.

Palabras clave: Blanqueo de pulpa, celulosa, fibra industrial, papel bond, procesos alcalinos, *Ricinus communis* L.

Abstract

This study describes the procedure to obtain *Ricinus communis* cellulose bleached and mixed with industrial fiber for its evaluation and incorporation in the manufacture of bond paper. A stem sample of it was extracted, peeled and chipped; subsequently, the alkaline cellulose process (soda and Kraft) was applied. Using a factorial model, the Kappa number and viscosity were determined, and just as well, the physicochemical assessment of sulphate pulps and soda was carried out, as well as the industrial short fiber (FC) and long fiber (FL) pulps. In the second stage, the pulp of the indicated species was characterized and was bleached with the DO (OP) D sequence; afterwards, fibrous mixture variables (100, 80, 60, 40 and 20 %) were applied and scored again to determine the best. Results indicate that the *Ricinus communis* pulp bleached by the process as defined and obtained by means of alkaline cooking (soda-Kraft), can be proposed as the bond paper fibrous component together with long fibers in a range of 40 to 80 %. This would represent a reduction in the costs of industrial staple fiber (CF), and favor the use of an unconventional fibrous source classified as a vegetable brush.

Key words: Pulp bleaching, cellulose, industrial fiber, bond paper, alkaline processes, *Ricinus communis* L.

¹ Fecha de recepción/date of receipt: 11 de noviembre de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 12 de enero de 2015.

¹ Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Correo-e: tescoto@dmcp.cucei.udg.mx

² Facultad de Ciencias Químicas. CUCEI. Universidad de Guadalajara.

Introducción

La producción de celulosa y papel se basa casi exclusivamente en la madera de pino (Paz *et al.*, 2011); sin embargo, hay un consenso unánime en afirmar que es indispensable contar con un abastecimiento de pulpa de fibra corta que permita complementar las pastas destinadas a la fabricación de determinados tipos de papel. El aprovechamiento de esta pulpa en una serie de productos de consumo interno significaría el desplazamiento de la fibra larga que podría destinarse a otros usos más favorables u ofrecerse en los mercados madereros. La escasez mundial de recursos fibrosos y la preocupación por los problemas generados por la deforestación han despertado un gran interés por la revisión y desarrollo de procesos de alto rendimiento, el reciclado de papel, así como la utilización de materias primas fibrosas no convencionales (malezas, arbustos y no maderables), susceptibles de utilizarse para la obtención de celulosa y su aplicación en papel (Agarwal *et al.*, 1992; Nagaty *et al.*, 1982).

La cubierta forestal de México, además de árboles de coníferas y latifoliadas, que son los más utilizados para la obtención de pulpa y papel (88 %), reúne una gran diversidad de plantas anuales, malezas y vegetales no maderables (12 %), las cuales no han sido estudiadas para su aprovechamiento en este contexto; sin embargo, son una parte fundamental del patrimonio natural y al mismo tiempo representan un gran potencial económico (Paz *et al.*, 2011).

Dentro de toda esa diversidad, *Ricinus communis* L. es considerada, en todo el mundo, como una maleza que crece en campos y terrenos, su utilidad se restringe a su semilla en la extracción del aceite de ricino o *castor oil* empleado en la fabricación de plásticos, lubricantes y cosméticos, entre otros materiales (Sánchez, 2006). En la actualidad se tienen registros para destinarla a la producción de combustible (biodiesel) o un añadido de la gasolina (Sánchez, 2006). Otra de sus probables aplicaciones es el uso de su tallo como una fuente de celulosa para la elaboración de papel y, así, lograr la sustitución de la fibra corta proveniente de recursos maderables no convencionales como *Eucalyptus globulus* Labille, este ámbito es en el que básicamente se enfoca el presente trabajo, (Paz *et al.*, 2011; Igartúa y Monteoliva, 2010).

En general, y de acuerdo a la Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México (ICEX, 2014), la industria del papel se divide en tres grupos: papeles de escritura e impresión, cartones para envase y embalaje, y papel tisú (facial y sanitario), de los cuales el segundo es el de mayor demanda (60 %), y entre los otros dos, se distribuye el restante 40 % (escritura e impresión 21-23 %; facial y sanitario 17 y 19%).

Por otro lado, de acuerdo a las compañías manufactureras de papeles y cartones, la importancia de la madera como

Introduction

Pulp and paper production are based, almost exclusively, on pine wood (Paz *et al.*, 2011); however, there is a unanimous consensus in stating that it is essential to count with a short fiber supply that allows to complete the paste for the fabrication of some kinds of paper. The use of this pulp in a series of internal consumption products would mean the displacement of the present consumption of long fiber that could be used in other in more convenient uses or could be offered in the wood markets. The world scarcity of fiber resources and the concern for the generated problems for deforestation have awakened a greatest interest for the review and development of processes of high yield, the paper cycling, as well as the non-conventional use of fibrous raw materials (weeds, scrubs and non-wood), which can be applied to obtain cellulose and its application on paper (Agarwal *et al.*, 1992; Nagaty *et al.*, 1982).

The forest cover of Mexico, in addition to hardwoods and softwoods, which are the most used for pulp and paper (88 %), includes a great diversity of annuals, weeds and non-woods (12 %), which have not been studied for their use and applicability in this field; however, they are essential for the natural welfare and, at the same time, have a great economic potential (Paz *et al.*, 2011).

Within this diversity, *Ricinus communis* L. is worldwide considered as a weed that naturally grows in fields and lands, but the only use it has is limited to its seed for the extraction of ricin oil, which is used in the manufacture of plastics, lubricants and cosmetics among other products (Sánchez, 2006). At present, there are some records that it is intended for fuel (biodiesel) or a gasoline additive (Sánchez, 2006). Another possible application, and in this area is where this research study is focused, is the use of its stem as a cellulose source for paper, and, therefore, to accomplish a substitution of short fiber from non-conventional wood resources, as *Eucalyptus globulus* Labille is at present (Paz *et al.*, 2011; Igartúa and Monteoliva, 2010).

In general and according to the Economic and Commercial Office of the Embassy of Spain in Mexico (ICEX, 2014), paper industry is divided, mainly, into three groups: writing and printing paper, packing paperboard and tissue paper (facial and sanitary), from which the second one is that of greatest demand (60 %) and between the other two, the resting 40 % is distributed (writing and imprint paper, 21-23 % and facial and sanitary, 17 and 19 %).

On the other hand, according to the Manufacturing Companies of Papers and Paperboards, the importance of wood as raw material for the paper industry lies in the fact that it has around 60 % of alpha, beta and gamma cellulose; however, the use of non -woods is growing, mainly, from the increase in demand of fibrous raw material and the use of

materia prima para la industria papelera radica en que contiene alrededor de 60 % de alfa, beta y gamma celulosa; sin embargo, el aprovechamiento y uso de productos no maderables está creciendo, debido, principalmente, al aumento en la demanda de materia prima fibrosa y a la utilización de los recursos naturales de cada país (plantas tropicales); un ejemplo de ello son China e India que en la actualidad incorporan de 80 a 40 %, respectivamente, de fibras no maderables para dicho propósito (CMPC, 2014).

Algunos datos publicados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2014) indican que no hay plantaciones con fines industriales en México, porque no ha existido una clara política forestal que permita disponer de materia prima dentro de un radio geográfico determinado. De ahí que el sector se ha visto obligado a conseguirla en zonas lejanas y, con frecuencia, de muy difícil acceso, lo que aumenta los costos y reduce su competitividad; por lo tanto, México es aún considerado consumidor de fibra secundaria y se ubica entre los diez primeros países recolectores de papel reciclable a nivel mundial, con un índice de recolección de 46.7 %, y entre los tres primeros recicladores del mundo, con un índice de utilización de fibra secundaria de 78.6 %.

Sin embargo, la fibra secundaria no siempre cumple con las demandas de cantidad y calidad, por lo que es necesario recurrir a otras fuentes fibrosas que posibiliten sustituirla o simplemente promover el uso de materiales de origen no maderable como *R. communis*, especie de rápido crecimiento (3 a 4 años), cuyo manejo en plantaciones es de bajo costo (INECC, 2014).

Ante un incremento en la demanda de mayor producción de pulpa destinada a la elaboración de papel y una reducción de costos en la industria, se planteó el siguiente objetivo: proponer la utilización de celulosa blanqueada obtenida a partir del tallo de *R. communis* en sustitución de otras materias primas (eucalipto y bagazo de caña) que actualmente se manejan en la industria para fabricar papel bond.

Materiales y Métodos

Descripción de la planta

De acuerdo a González (2008), *R. communis* es llamada comúnmente "higuerilla", "higuera del diablo" o "ricino"; es un arbusto perenne diclino monoico (vive más de dos años; florece y produce semillas más de una vez), puede alcanzar hasta 6 m de altura; de raíz superficial; tallo engrosado y ramificado, cilíndrico, hueco, color verde-vinoso, reabierto por una delgada corteza con una tenue capa de cera (Figura 1). Presenta flores (Figura 1) de ambos sexos, masculinas con perianto de 6 a 12 mm y 5 sépalos con numerosos estambres de color amarillo; y femeninas con perianto de 4 a 8 mm de largo, con un cáliz caduco que circunda completamente al ovario, el cual es trilobular, densamente

natural resources of each country (tropical plants); for example, China and India at present, include around 80 and 40 %, respectively, of non- wood fibers for this ending (CMPC, 2014).

Some data published by the *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático* (INECC, 2014) indicate that there are no plantations for industrial purposes in Mexico because there has not been a clear forest policy that would have allowed to get raw material within a specified geographical radius. Hence, this sector has been forced to get it from remote areas and often very difficult to access, which increases costs and reduces their competitiveness; therefore, Mexico is still considered a secondary fiber consumer and is among the top ten countries of recyclable paper collectors worldwide with a collection rate of 46.7 %, and among the top three recyclers in the world, with an index of use of secondary fiber of 78.6 %.

However, secondary fiber not always satisfies amount and quality demands, which makes it necessary to look for different fiber sources that would make it possible or replace or simply to promote the use of different materials or non- wood origin, such as *R. communis* which is fast growing and its plantations are managed at low costs (INECC, 2014).

On the face of an increment in the demand of greater production of pulp to manufacture paper and a reduction of industrial costs, the following objective was stated: to propose the use of bleached cellulose from the stem of *R. communis* as a substitute of different raw materials (eucalyptus and sugar cane fiber) that are industrially used at present for bond paper.

Materials and Methods

Description of the plant

According to González (2008), *R. communis* is commonly called "fig", "devil fig" or *castor*; it is a monoecious perennial diclinous shrub (lives more than two years; flowers and seeds produced more than once per year), and it can reach up to 6 m tall, with shallow root and stem thickened and branched, cylindrical, hollow, green-wine-colored, coated with a thin crust of a thin layer of wax (Figure 1).

Also, it has flowers (Figure 1) of both sexes, male with perianth of 6-12 mm and 5 sepals with numerous yellow color stamens and female perianth 4-8 mm long, with a deciduous calyx which completely surrounds the ovary which is trilobular; the ovary is densely covered with long soft tubers, which seem coarse hairs, has short pendulum and occur in a terminal cluster. The fruit (Figure 2) is a capsule containing a trilobular seed per locule and is externally coated with no sharp spines; tends to dehiscence, i.e., when the pericarp ripens, it opens to eject the seeds. The seed is oval, ranging in size from 5 to 20 mm depending on the variety; the integument is leathery, with a



Figura 1. *Ricinus communis* L. y aspecto de las hojas y flores.
Figure 1. *Ricinus communis* L. and general look of leaves and flowers.

abierto por largos tubérculos blandos, que parecen pelos gruesos, su pedúnculo es corto y se producen en racimos terminales. El fruto (Figura 2) es una cápsula trilobular que contiene una semilla por lóculo y exteriormente está recubierto por espinas no punzantes; tiene tendencia a la dehiscencia; es decir, al madurar se abre el pericarpio para expulsar la semilla. Esta es de forma oval, de tamaño variable entre 5 y 20 mm, según la variedad; el tegumento es coriáceo, de superficie lisa y lustrosa, con manchas marmoleadas, además del aceite contiene ricina y ricinina (tóxicos); el contenido de aceite en la semilla es de alrededor de 46 % (Herboteca, 2014).

smooth and glossy surface, with marbled stains, in addition to oil (46 %), it also contains ricin and ricinine (toxic) (Herboteca, 2014).

The right weather conditions for its development are the following: direct sun or middle shadow with warm or mild climate (21 to 27 °C) and a subhumid environment, 58 % relative humidity; it does not resist intense or long frosts; it can stand some soil properties, among which, there are a few nutrients but abundant organic matter and good drainage (González, 2008).



Figura 2. Aspecto del fruto y de la semilla de *Ricinus communis* L.
Figure 2. General look of *Ricinus communis* L. fruit and seed.

Las condiciones climáticas para su desarrollo son las siguientes: sol directo o media sombra, con clima cálido o



templado (21 a 27 °C) y ambiente subhúmedo, 58 % humedad relativa, no resiste heladas severas o muy prolongadas; tolera varias características de suelo, entre ellas: pocos nutrientes, pero con abundante materia orgánica y buen drenaje (González, 2008).

Recolección y muestreo

La recolección del tallo de *R. communis* se llevó a cabo en el Campo Experimental Bosque Escuela de la Universidad de Guadalajara, ubicado en Cuxpala, Jalisco, que pertenece al área Bosque La Primavera. El espécimen seleccionado medía 4.5 m de altura, 12.5 cm de diámetro promedio y su edad promedio, 3.8 meses; se le derribó y seccionó en diferentes partes (tallo principal y ramas principales) y se eliminaron las hojas y ramas de menor diámetro (Figura 3). Se trasladó al Departamento de Madera, Celulosa y Papel/CUCEI de la Universidad de Guadalajara, en donde se descortezaron manualmente, con una navaja y una espátula; los troncos y ramas sin corteza se dejaron secar a temperatura ambiente, hasta una humedad de 15 a 30 % (Figura 3).



Figura 3. Derribo y descortezado del tronco de *Ricinus communis* L.
Figure 3. Felling and debarking of *Ricinus communis* L. stem.

La operación de astillado de troncos y ramas se realizó en una astilladora en la que la madera se fraccionó en astillas pequeñas (Figura 4), las que se clasificaron mediante tamices de diferentes tamaños: 1 pulgada, $\frac{3}{4}$ de pulgada y $\frac{1}{2}$ pulgada de abertura respectivamente; las astillas retenidas en la criba de $\frac{3}{4}$ de pulgada fueron las utilizadas para la obtención de pulpa.

Collection and sampling

The collection of the stem of *R. communis* was conducted in the Experimental Forest School of the Universidad de Guadalajara, located in Cuxpala, Jalisco, which belongs to the Bosque La Primavera area. The selected specimen measured 4.5 m in height, 12.5 cm average diameter, and 3.8 months average age; it was felled and sectioned in different parts (main stem and main branches) and the leaves and branches of smaller diameter (Figure 3) were eliminated. They were taken to the Departamento de Madera, Celulosa y Papel/CUCEI Universidad de Guadalajara, where they were manually debarked with a knife and spatula; the barkless trunks and branches were dried at room temperature to a moisture of 15 to 30 % (Figure 3).

The chipping operation of trunks and branches was accomplished with a Bruks Mekaniska chipper in which wood was divided into small chips (Figure 4). The obtained chips were classified through sieves of different size: 1 inch, $\frac{3}{4}$ inch and $\frac{1}{2}$ inch; those that were retained in the $\frac{3}{4}$ inch were those used for pulping.

Pulping processes (soda, Kraft)

Moisture was determined to the classified chips, according to the T258 om-89 regulation (Tappi, 1998); they were weighted in a Sartorius scale, Universal 5000 model and put into bags to prepare the different cooking treatments according to Table 1.



Figura 4. Astillado y clasificación de troncos y ramas del *Ricinus communis* L.
Figure 4. Chipping and classification of trunks and branches of *Ricinus communis* L.

Procesos de obtención de pulpa (Sosa, Kraft)

A las astillas clasificadas se les determinó la humedad de acuerdo a la norma T258 om-89 (Tappi, 1998); se pesaron en una balanza Sartorius modelo Universal 5000 y se embolsaron para preparar los diferentes tratamientos de cocción, de acuerdo al Cuadro 1.



Cuadro 1. Condiciones para la cocción a la sosa y al sulfato.

Table 1. Conditions for soda and sulphate cooking.

Proceso Sosa	Temperatura	Tiempo	NaOH	NaOH
Astillas base seca(g)	(°C)	(min)	(%)	(g)
859.5	165	120	23	203.53
Proceso Kraft	Temperatura	Tiempo	Na ₂ S	Na ₂ S + NaOH (g)
Astillas base seca (g)	(°C)	(min)	(%)	
859.5	165	120	26	223.47

Los tratamientos de cocción se llevaron a cabo en un digestor tipo *Jayme* modelo R25W/3 (Figura 5), y se calentaron con resistencias eléctricas; las astillas, junto con el licor de cocción se vaciaron en el interior del digestor con un hidromódulo 5:1 para ambos procesos. Al término del tiempo de cocción, se despresurizó el digestor, se enfrió y se abrió para sacar las astillas, que se lavaron para eliminar el licor de cocimiento residual; posteriormente, se desfibraron en un refinador de discos *Sprouth Waldron* M105A (Figura 5), con una abertura entre discos de 12 milésimas de pulgada.

The cooking treatments were carried out in a *Jayme* type digester, R25W/3 model (Figure 5), and were heated with electric resistances; the chips together with the cooking liquor were emptied into the digester with a 5:1 hydromodule for both processes. At the end of the cooking time, the digester was depressurized, cooled and was opened to take out the cooked chips, that were washed to remove the liquor of residual cooking; later, the chips were shred in a *Sprouth Waldron* M105A disk refiner (Figure 5), with an opening between disks of 12 thousandths of an inch.



Figura 5. Cocción, desfibración y obtención de pulpa de *Ricinus communis* L.

Figure 5. Cooking, shredding and procurement of the pulp of *Ricinus communis* L.

Finalmente, la pulpa desfibrada se pasó a un depurador de diafragma *Lorentzen Wettre* modelo FI-117- MT3 con placa ranurada de 0.25 mm; se separó la pulpa aceptada de los rechazos o material "crudo" (Figura 6).

Finally, the shredded pulping was passed through a *Lorentzen Wettre* diaphragm, FI-117- MT3 model, with a 0.25 mm slotted sheet; the accepted pulp was rejected as well as the uncooked material (Figure 6).





Figura 6. Depuración de la pulpa en equipo Lorentzen Wettre.
Figure 6. Pulp purifying in a Lorentzen Wettre equipment.

La pulpa aceptada para los dos procesos de cocción soda y Kraft se homogeneizó y se le calculó la humedad, el rendimiento, el número de Kappa y la viscosidad por el método T-236 (Tappi, 1998). La evaluación fisicomecánica de las pulpas se realizó de acuerdo a Escoto (2002), mediante curvas de refinación en molino Jokro (Figura 7), según la norma ISO 5264/3 (ISO, 1998). Los puntos de refinación se establecieron en 0, 8, 16 y 24 minutos, también se determinó el grado de refinación en función al método ISO5267/1 (ISO, 1998) con un equipo Schopper Riegler KF - GMBH (Figura 7); se elaboraron hojas de papel de cada tiempo de refinación en formador estándar (Figura 7). Las pruebas fisicomecánicas en las hojas de papel estándar se aplicaron según las normas Tappi (1998) que incluyen la resistencia al rasgado (T-414), resistencia a la tensión (T-404), resistencia a la explosión (T-403), resistencia al doblez (T-423), espesor o calibre (T-411) y porosidad (T-460).

The accepted pulp for both cooking processes, soda and Kraft, was homogenized and the calculation of its moisture, yield, Kappa number and viscosity values was made according to the T-236 method (Tappi, 1998). The physicomecanical assessment of the pulps was made according to Escoto (2002), through refining curves in a Jokro mill (Figure 7) following the ISO 5264/3 regulation (ISO, 1998); the refining points were established at 0, 8, 16 and 24 minutes. The refining degree was determined according to the ISO5267/1 method (ISO, 1998), with a KF - GMBH Schopper Riegler equipment (Figure 7); paper sheets were manufactured in each refining time in a standard former (Figure 7). The physicomecanical tests on the standard paper sheets were applied following the Tappi (1998) regulations: resistance to tear (T-414), tensile strength (T-404), resistance to explosion (T-403), resistance to bending (T-423), thickness or caliber (T-411) and porosity (T-460).



Figura 7. Refinación, medición del grado de refinación y formación de hojas.
Figure 7. Refining, evaluation of the refining degree and sheet manufacture.

Blanqueo y mezcla de pulpas (fibras celulósicas)

A las pulpas a la soda y al sulfato obtenidas (después de depuración) se les aplicó el tratamiento de blanqueo con cuatro secuencias: oxígeno (Cuadro 2), dióxido de cloro (Cuadro 3), oxígeno/peróxido (Cuadro 4) y dióxido (Cuadro 5) [O D₀ (O P) D].

Bleaching and pulp (cellulose fibers) mixture

To the soda and sulphate pulps obtained (after depuration), was applied the bleaching treatment with four sequences: with oxygen (Table 2), with chloride dioxide (Table 3), with oxygen/peroxide (Table 4) and with dioxide (Table 5) [O D₀ (O P) D].

Cuadro 2. Condiciones de primer secuencia con oxígeno.
Table 2. Conditions of the first sequence with oxygen.

Proceso de cocción	Sosa	Kraft
Pulpa base seca inicial (g)	180	180
Sosa NaOH (g)	3.24	2.7
Consistencia (%)	10	10
Temperatura (°C)	90	100
Presión de oxígeno (kg cm ⁻²)	5	5
Sulfato de magnesio (g)	0.9	0.9
pH al inicio del proceso	12.32	12.1
Tiempo (min)	60	60

Cuadro 4. Condiciones tercera secuencia con oxígeno-peróxido.
Table 4. Conditions of the third sequence with oxygen/peroxide.

Proceso de cocción	Sosa	Kraft
Pulpa base seca inicial (g)	145.45	127.66
Sulfato de magnesio (g)	1.72	0.62
Presión de oxígeno (kg cm ⁻²)	5	5
Peróxido (g)	1.43	0.99
Sosa (g)	1.43	1.39
Consistencia (%)	10	10
Temperatura (°C)	98	100
Tiempo (min)	60	60

El blanqueo de la pulpa se hizo para las secuencias con oxígeno, y oxígeno/peróxido, en el reactor Jayme modelo R25W/3 (Figura 8) y para las secuencias con dióxido se utilizó un baño de agua con temperatura controlada. En ambos casos y posterior a cada una de las secuencias de blanqueo, la pulpa (Kraft y sosa) se lavó, se exprimió y se homogeneizó (Figura 8) para después determinar su blancura, opacidad y viscosidad; además de aplicar nuevamente una curva de refinación para conocer sus propiedades fisicomecánicas. A las pulpas blanqueadas industriales (fibra larga, FL y fibra corta, FC), también se les evaluaron las características anteriores y se llevó a cabo la curva de refinación.

Cuadro 3. Condiciones segunda secuencia con dióxido de cloro.
Table 3. Conditions of the second sequence with chloride dioxide.

Proceso de cocción	Sosa	Kraft
Pulpa base seca inicial (g)	157.93	157.72
Clorito de sodio (g)	1.72	2.69
Ácido sulfúrico (g)	0.079	1.39
Consistencia (%)	10	10
Temperatura (°C)	60	60
pH al inicio del proceso	7.60	4.3
Tiempo (min)	60	60

Cuadro 5. Condiciones cuarta secuencia con dióxido de cloro.
Table 5. Conditions of the fourth sequence with chloride dioxide

Proceso de cocción	Sosa	Kraft
Pulpa base seca inicial (g)	123.30	116.36
Clorito de Sodio (g)	1.69	1.17
Ácido Sulfúrico (g)	0.67	0.58
% Consistencia (%)	10	10
Temperatura (°C)	80	80
Tiempo (min)	180	180

Pulp bleaching was made for the sequences with oxygen and oxygen/peroxide, in the Jayme reactor, R25W/3 model (Figure 8) and for the sequences with dioxide was used a bath of water with controlled temperature. In both cases, and after each one of the bleaching sequences, the pulp (Kraft and soda) was washed, squeezed and homogenized (Figure 8) for a later determination of whiteness, opacity and viscosity, in addition to the application, one more, of a refining curve to know the physical-mechanical properties. To the bleached industrial pulps (long fiber, FL and short fiber, FC), the same characteristics were assessed and a refining curve was applied as well.



Figura 8. Blanqueo de la pulpa, lavado y homogeneizado.
Figure 8. Pulp bleaching, washing and homogenization.

Con base en los resultados de las curvas de refinación, se eligieron los tiempos óptimos para cada una de las pulpas blanqueadas (fibra de *Ricinus* a la sosa, fibra de *Ricinus* al sulfato, fibra corta y fibra larga industrial) de acuerdo al Cuadro 6; en un equipo formador TMI, se elaboraron ocho hojas para cada variable con un gramaje de 60 g m⁻² de acuerdo al método Tappi T - 205 (Tappi, 1998).

Based on the results that came from refining curves, were elected the optimal times for each one of the bleached pulps (soda *Ricinus* fibers, sulphate *Ricinus* fibers, short industrial fiber, and long industrial fiber) according to Table 6; in a TMI formation equipment, 8 sheets for each variable of 60 g m⁻² were made following the Tappi T - 205 method (Tappi, 1998).

Cuadro 6. Diseño experimental para mezclas fibrosas en %.
Table 6. Experimental design for fibrous mixtures in per cent (%)

Fibra larga Industrial	Fibra Corta Industrial	Fibra a la Sosa	Fibra Kraft
Ref. 30 min	Ref. 16 min	Ref. 8 min	Ref. 12 min
100 %	0 %	0 %	0 %
80 %	20 %	20 %	20 %
70 %	30 %	30 %	30 %
60 %	40 %	40 %	40 %
40 %	60 %	60 %	60 %
20 %	80 %	80 %	80 %
0 %	100 %	100 %	100 %

Las pruebas en las hojas de papel estándar fueron las mismas de la etapa sin blanqueo y las respectivas al papel bond, las cuales son: blancura Tappi T- 525 (Tappi, 1998) y opacidad Tappi T-519 (Tappi, 1998); para esta prueba se utilizó el equipo *Elrepho* 3000 *Datacolor* (Figura 9). La rugosidad y la absorción superficial se evaluaron mediante el equipo IGT de acuerdo a Tappi T-499 (Tappi, 1998) (Figura 9). Los resultados se calcularon directamente a partir de las fórmulas dadas en las técnicas Tappi antes mencionadas.

The tests determined in the sheets of standard paper were the same of the bleaching stage, and those referring to bond paper, which are: Tappi T- 525 whiteness (Tappi, 1998) and Tappi T-519 opacity (Tappi, 1998); for this test an *Elrepho* 3000 *Datacolor* equipment was used (Figure 9). The identification of roughness and superficial absorption was made with the aim of an IGT equipment according to Tappi T-499 (Tappi, 1998) (Figure 9). The calculation of results was directly made from the formulae offered in the Tappi techniques formerly mentioned.



Figura 9. Equipo Elrepho e IGT para medir la blancura, opacidad y rugosidad en papel.
Figure 9. Elrepho and IGT equipment to measure paper whiteness, opacity and roughness.

Resultados y Discusión

Respecto al proceso de cocción a la sosa y al sulfato, el rendimiento, el número de Kappa y la viscosidad son muy parecidos; sin embargo, el proceso a la sosa presentó mejores resultados debido, probablemente, al menor porcentaje de álcali activo aplicado en el proceso de cocción inicial (sosa, 23 % y Kraft, 26 %) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultados del proceso de cocción.

Table 7. Results of the cooking process.

Proceso de cocción	Rendimiento %	Núm. de Kappa	Viscosidad cp
Sosa	41	17.46	8.1
Kraft	39	15.09	7.9

Los resultados de la curva de refinación de las cuatro pulpas (Figura 10) presentan dos tendencias; para las fibras cortas a la sosa y Kraft de *R. communis* y fibra corta industrial (FCI) se detectó que para las dos primeras, los grados de refinación son muy parecidos, pero para la fibra corta industrial, el tiempo de refinación máximo (24 min) no logró incrementar el mismo nivel (28 °SR), por lo que a tiempos iguales, las pulpas de *R. communis* requieren menor energía para llegar a niveles más altos (44 y 46 °SR).

La segunda tendencia en la pulpa con fibra larga industrial (FLI) demandó mayor tiempo de refinación (45 min) para llegar al mismo nivel alcanzado por las pulpas de *R. communis*; es decir, la fibra larga industrial necesitó del doble de tiempo de refinación, ya que al minuto 45 alcanzó aproximadamente los 44 °SR que obtuvieron las pulpas de la especie de interés en 24 minutos (44 y 46 °SR).

Results and Discussion

In regard to the soda and sulphate cooking processes, as it can be observed in Table 7, the yield, Kappa number and viscosity values are rather similar; however, the soda one showed better results, as, probably, it was due to the smaller per cent of active alkali applied to the initial cooking process (soda, 23 % and Kraft, 26 %).

The results of the refining curve of the four pulps (Figure 10) showed two tendencies; for the short fibers of soda and Kraft of *R. communis* and short industrial fiber (FCI) it can be appreciated for the first two, that the refining degrees are very similar, but that for the short industrial fiber, that the maximum refining time (24 min) does not achieve to increase the same refining level (28 °SR), which, at equal times, the *R. communis* pulps demand less energy to accomplish the highest levels (44 and 46 °SR).

The second tendency in the pulp with industrial long fiber (FLI) demands greater refining time (45 min) to get to the same level of the *R. communis* pulps, that is, the industrial long fiber needed twice the refining time, since at the minute 45, it reached around the 44 °SR, which obtained the pulps of the studied species after 24 minutes (44 and 46 °SR).

The clear difference upon the refining treatment between the short fibers and the long fibers, in general, show this kind of effect due, mainly, to the cell morphology and the length of the fiber; regularly, the size of the long fiber (pines) varies between 2 800 and 3 200 μm long and the size of the short fibers of *Eucalyptus* spp., for example, is in a range between 863.6 and 830.2 μm (Igartúa and Monteoliva, 2010) and those of *R. communis* from 0.960 to 1 058 μm (Escoto et al., 2013);

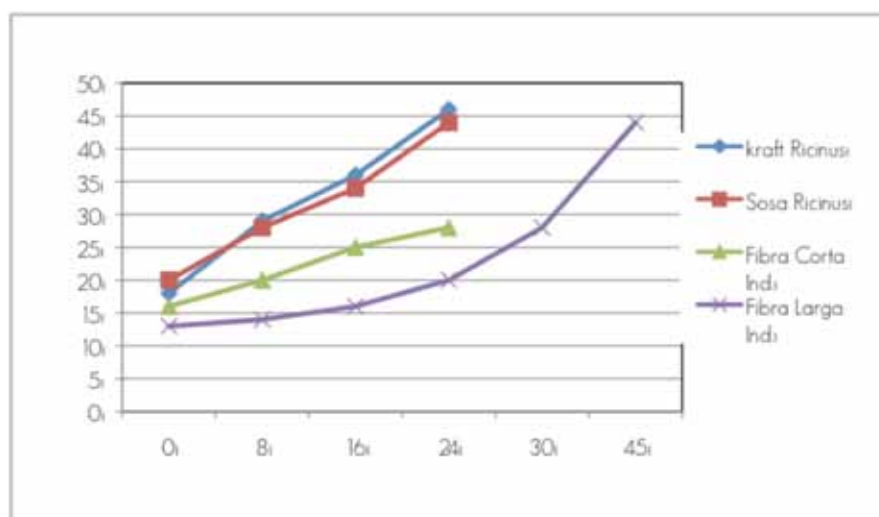


Figura 10. Efecto del tiempo de refinación sobre el grado de refinación en pulp (°SR).

Figure 10. Effect on pulp of the refining time upon the degree of refining (°SR).

La diferencia marcada en el tratamiento de refinación entre las fibras cortas y fibras largas, en general, presentan este tipo de efecto debido, principalmente, a la morfología celular y a la longitud de la fibra; por lo regular, el tamaño de la fibra larga (pinos) varía entre 2 800 y 3 200 μm de longitud, y el tamaño de las fibras cortas de *Eucalyptus* spp., por ejemplo, se ubica en un intervalo de 863.6 y 830.2 μm (Igartúa y Monteoliva, 2010). Las de *R. communis* de 0.960 a 1 058 μm (Escoto *et al.*, 2013); por ello es necesario aplicar mayor energía en el tratamiento de refinación, para lograr una fibrilación interna y externa que mejore las características fisicomecánicas del papel.

Los resultados de la evaluación fisicomecánica de las pulpas sin blanquear de *R. communis* a la sosa y al sulfato se reúnen en los cuadros 8 y 9: Las pulpas industriales de fibra corta y fibra larga no se evaluaron como curva de refinación, solamente se tomaron los tiempos de refinación y de propiedades óptimas.

therefore, more energy is necessary in the refining treatment to accomplish an internal and external fibrillation that improves the physic-mechanical characteristics of paper.

The results of the physicochemical assessment of the unbleached *R. communis* soda and sulfate pulps are exhibited in tables 8 and 9; the long and short fiber industrial pulps were not evaluated as refining curve, only refining time and optimum properties were considered.



Cuadro 8. Propiedades físico-mecánicas de la pulpa de *Ricinus communis* L. a la sosa sin blanquear.
Table 8. Physical-mechanical properties of the *Ricinus communis* L unbleached soda pulp.

Tiempo de refinación (min)	0	8	16	24
Índice de explosión ($\text{kPa m}^2 \text{g}^{-1}$)	1.64	3.59	4.12	5.04
Porosidad (s/100 cc)	6	34	27	57
Dobleza (no)	9	124	128	130
Índice de doblez (10°no)	0.92	2.09	2.11	2.11
Índice de tensión (Nm g^{-1})	32.45	61.69	65.32	66.99
Resistencia al rasgado (gf)	38.00	48.89	51.56	59.73
Índice de rasgado ($\text{Nm}^2 \text{kg}^{-1}$)	5.9	7.3	7.9	9.2
Espesor (μm)	1.22	1.02	0.91	0.92

Cuadro 9. Propiedades físico-mecánicas de la pulpa de *Ricinus communis* L. Kraft sin blanquear.
Table 9. Physical-mechanical properties of the *Ricinus communis* L. unbleached Kraft pulp.

Tiempo de refinación (min)	0	8	16	24
Índice de explosión ($\text{kPa m}^2 \text{g}^{-1}$)	2.18	3.99	4.71	4.72
Porosidad (s/100cc)	8	36	78	106
Dobleza (no)	75	118	271	334
Índice de doblez (10°no)	1.87	2.07	2.43	2.52
Índice de tensión (Nm g^{-1})	22.28	62.99	75.17	69.64
Resistencia al rasgado (gf)	36.00	47.60	41.07	41.00
Índice de rasgado ($\text{Nm}^2 \text{kg}^{-1}$)	5.6	7.1	6.2	6.2
Espesor (μm)	1.23	1.05	0.97	0.94

Como se advierte en los cuadros 8 y 9, las propiedades de resistencia fisicomecánica en 24 minutos de refinación para la pulpa Kraft, el índice de tensión fue de 69.64 Nm g^{-1} , la resistencia al doblez de 334 y la porosidad de 106, mientras

As can be noted in tables 8 and 9, the physical-mechanical resistance properties in 24 minutes of refining were interlaced as in Kraft pulp the tension index of 69.64 Nm g^{-1} , the bending strength of 334 and porosity of 106 indicate better results;

que en la pulpa a la sosa, el índice de explosión tuvo un valor de $5.04 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$ y el índice de rasgado de $9.2 \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-1}$. A partir de que no existen grandes diferencias entre los resultados para cada tiempo de refinación, y por el ahorro de energía en el tratamiento de refinación, se optó por seleccionar el de 8 minutos para la pulpa a la sosa y 12 minutos para la pulpa Kraft; para la fibra corta industrial se eligió el de 16 minutos y para la fibra larga industrial 30 minutos.

El porcentaje de blancura se incrementó en la medida en la que se aplicaron las diferentes secuencias de blanqueo, aunque la pulpa Kraft logró mejor respuesta (82.22 %) en cada una de las secuencias de blanqueo, con respecto a la pulpa a la sosa (81.87 %) (Cuadro 10, Figura 11).

however in soda pulp, burst index of $5.04 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$ and tear index of $9.2 \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-1}$ are better in Kraft pulp. Since there are no major differences between the results obtained for each refining time and energy saving in the refining treatment, it was decided to select the time of 8 minutes for soda pulp and 12 minutes for the Kraft pulp; for industrial short fiber, 16 minutes were chosen and 30 minutes for the industrial long fiber.

The results of the whiteness property in the bleached pulps shown in Table 10 and Figure 11, indicate that the percentage of whiteness was increased as the different bleaching sequences were implemented, although Kraft pulp achieved a better response (82.22 %) in each one of the bleaching sequences with respect to soda pulp (81.87 %).

Cuadro 10. Porcentaje de blancura en las etapas de blanqueo en pulpa de *Ricinus communis* L.

Table 10. Percentage of whiteness in the pulp bleaching stages of *Ricinus communis* L.

Pulpa	Sin blanquear	Oxígeno (O)	Dióxido de cloro (D_2)	Oxígeno-Peróxido (O P)	Dióxido de cloro (D)
Sosa	30.27 %	44.77 %	62.35 %	75.02 %	81.87 %
Kraft	29.04 %	47.15 %	67.79 %	78.51 %	82.22 %

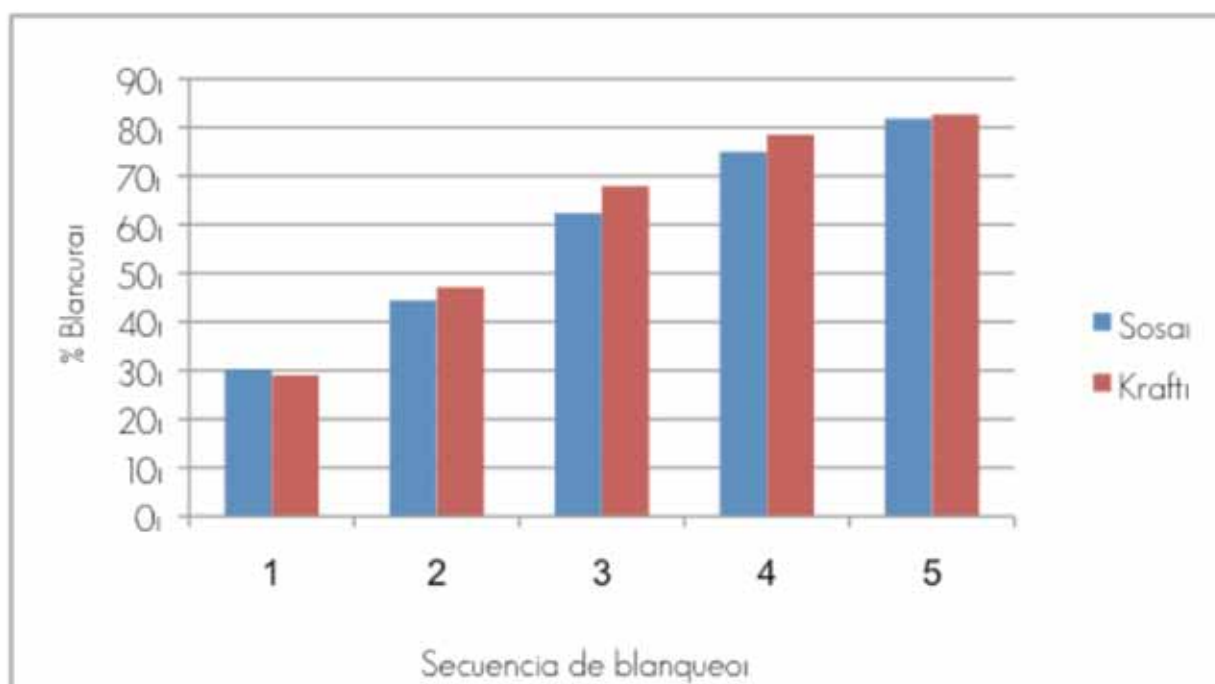


Figura 11. Efecto de las secuencias de blanqueo en pulpa de *Ricinus communis* L.

Figure 11. Effect on *Ricinus communis* L. pulp of the bleaching sequences.

Los resultados de la mezcla de fibras y sus propiedades fisicomecánicas, ópticas y rugosidad superficial se ordenan en los cuadros 11, 12 y 13; en ellos se observa que para la mezcla fibra larga industrial (FLI) /fibra corta industrial (FCI) (Cuadro 11), las

The results of the mixture of fibers and its physical-mechanical properties, optical and surface roughness are arranged in tables 11, 12 and 13; it can be seen in them that for the long industrial fiber mixture FLI / Industrial short fiber FCI (Table 11),

mejores propiedades se ubican en las bandas con 70 % FLI / 30 % FCI (índice de rasgado $11.76 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$ e índice de doblez $2.42 \log_{10}$) y en la banda 20 % FLI / 80 % FCI (índice de tensión 87.62 Nm g^{-1} , índice de explosión $4.07 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$, blancura 82.88 % y opacidad 83.09 %); valores superiores a los registrados al 100 % de fibra larga industrial (índice de rasgado $8.74 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$, índice de tensión 74.68 Nm g^{-1} , índice de explosión $3.04 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$, blancura 81.02 % y opacidad 77.66 %). La rugosidad se beneficia en la mezcla 40 % FLI / 60 % FCI ($1.21 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$), con respecto al 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

the best properties are located in the bands FLI 70 % / 30 % FCI ($11.76 \text{ N.m}^2 \text{ g}^{-1}$ and tear index $2.42 \log_{10}$ bending rate) and in the 20 % band FLI / 80 % FCI (87.62 Nm g^{-1} tension index, $4.07 \text{ kPa.m}^2 \text{ g}^{-1}$ explosion index, 82.88 % whiteness and 83.09 % opacity); higher values than those recorded at 100 % industrial long fiber ($8.74 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$ tear index, 74.68 Nm g^{-1} tension index, $3.04 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$ explosion index, 81.02 % whiteness and 77.66 % opacity). Roughness benefits in the 40 % FLI / 60 % FCI ($1.21 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$) mix, with respect to 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

Cuadro 11. Pruebas fisicomecánicas en fibra larga industrial / fibra corta industrial.

Table 11. Physical-mechanical tests in Industrial Long Fiber/ Industrial Short Fiber.

Fibra larga ind. (%)	Índice de explosión ($\text{kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de rasgado ($\text{Nm}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de doblez ($10^{\wedge}\text{no}$)	Índice de tensión (Nm g^{-1})	Blancura (%)	Opacidad (%)	Rugosidad (mm^2/cm^2)	Porosidad (s/100cc aire)
100	3.04	8.74	2.68	74.68	81.02	77.66	0.91	0.20
80	3.81	8.96	2.38	82.27	80.51	78.43	1.13	0.15
70	3.63	11.76	2.42	80.88	81.65	80.80	1.10	0.10
60	3.96	9.39	2.39	82.02	82.12	79.55	1.00	0.10
40	3.54	8.81	2.28	79.34	82.78	81.61	1.21	0.08
20	4.07	8.89	2.30	87.62	82.88	83.09	1.07	0.07
100FCI	3.18	9.93	2.14	76.59	84.47	83.17	0.99	0.05

Para la mezcla fibra larga industrial (FLI) / fibra de *R. communis* a la sosa (FRS) (Cuadro 12), las mejores propiedades están en las bandas de 70 - 80 % FLI / 30 - 20 % FRS (índice de tensión 77.69 Nm g^{-1} , índice de rasgado $8.51 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$ e índice de doblez $2.38 \log_{10}$) y en la banda 60 - 20 % FLI / 40 - 80 % FRS (índice de explosión $4.28 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$, blancura 79.83 % y opacidad 87.08 %); a excepción de la blancura, índice de doblez e índice de rasgado, el resto de propiedades son relativamente superiores a las registradas al 100 % de fibra larga industrial. La rugosidad se beneficia en la mezcla 20 % FLI / 80 % FRS ($1.04 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$), con respecto al 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

For the long industrial fiber mixture FLI / soda *R. communis* fiber FRS (Table 12), the best properties are in the band 70 - 80 % FLI / 30 - 20 % FRS (77.69 Nm g^{-1} , $8.51 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$ tension index and $2.38 \log_{10}$ bending rate) and in the band 60 - 20 % FLI / 40 - 80 % FRS ($4.28 \text{ kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$ explosion index, 79.83 % whiteness and 87.08 % opacity); except for whiteness, bending index and tear index, the rest of the properties are rather higher than those reported at 100 % of long industrial fiber. Roughness benefits in the 20 % FLI / 80 % FRS ($1.04 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$) mixture in regard to 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

Cuadro 12. Pruebas fisicomecánicas en fibra larga industrial/fibra de *Ricinus communis* L. a la sosa.

Table 12. Physical-mechanical tests in Industrial Long Fiber/ soda *Ricinus communis* fiber.

Fibra larga ind. (%)	Índice de explosión ($\text{kPa m}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de rasgado ($\text{Nm}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de doblez ($10^{\wedge}\text{no}$)	Índice de tensión (Nm g^{-1})	Blancura (%)	Opacidad (%)	Rugosidad ($\text{mm}^2 \text{ cm}^{-2}$)	Porosidad (s/100cc aire)
100	3.04	8.74	2.68	74.68	81.02	77.66	0.91	0.20
80	3.59	8.51	2.38	61.89	79.13	77.23	0.79	0.19
70	3.46	7.74	2.19	77.69	79.79	81.33	0.94	0.19
60	4.28	8.03	2.16	64.42	79.83	82.67	0.95	0.26
40	3.23	6.76	2.30	65.53	77.73	86.34	0.89	0.30
20	2.74	5.40	1.91	62.04	78.02	87.18	1.04	0.28
100 FRS	3.45	4.73	1.85	62.87	78.67	88.69	1.01	0.35

En el caso de la mezcla fibra larga industrial (FLI)/fibra de *R. communis* Kraft (FRK) (Cuadro 13), las propiedades superiores se concentran en las bandas con 70 - 40 % FLI / 30 - 60 % FRK (índice de rasgado $6.93 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$, índice de doblez $2.36 \log_{10}$, índice de tensión 78.38 Nm g^{-1} , índice de explosión $3.37 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$, blancura 77.32 % y opacidad 86.77 %); también en este caso, a excepción de la blancura, índice de doblez e índice de rasgado, el resto de propiedades son relativamente mayores a las registradas al 100 % de fibra larga industrial. La rugosidad fue inferior ($0.71 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$) con respecto al 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

For the long industrial fiber mixture FLI / Kraft *Ricinus communis* fiber FRK (Table 13), the best properties concentrate in the band 70 - 40 % FLI / 30 - 60 % FRK ($6.93 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$ tear index, $2.36 \log_{10}$ bending rate, 78.38 Nm g^{-1} tension index, $3.37 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$ explosion index, 77.32 % whiteness and 86.77 % opacity); except for whiteness, in this case too, the bending index and tear index, the rest of the properties are rather higher than those reported at 100% of long industrial fiber. Roughness was lower ($0.71 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$) in regard to 100 % FLI ($0.91 \text{ mm}^2 \text{ cm}^{-2}$).

Cuadro 13. Pruebas fisicomecánicas en fibra larga industrial / fibra de *Ricinus communis* L. Kraft.

Table 13. Physical-mechanical tests in Industrial Long Fiber/ Kraft *Ricinus communis* L. fiber.

Fibra larga ind. (%)	Índice de explosión ($\text{kPam}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de rasgado ($\text{Nm}^2 \text{ g}^{-1}$)	Índice de doblez ($10^{\wedge}\text{no}$)	Índice de tensión (Nm g^{-1})	Blancura (%)	Opacidad (%)	Rugosidad ($\text{mm}^2 \text{ cm}^{-2}$)	Porosidad (s/ 100cc aire)
100	3.04	8.74	2.68	74.68	81.02	77.66	0.91	0.20
80	3.55	7.29	2.49	74.88	75.24	80.70	0.65	0.51
70	3.37	6.67	2.23	73.35	77.32	80.41	0.71	0.51
60	3.37	6.93	2.36	78.38	76.78	83.31	0.69	0.55
40	3.39	6.13	2.28	72.88	77.15	86.77	0.63	0.57
20	3.29	5.58	1.96	70.86	76.96	85.91	0.61	0.51
100 FRK	3.38	4.88	1.98	56.64	79.66	86.83	0.61	0.59

Para visualizar el comportamiento y el efecto del incremento de fibra de *R. communis* a la sosa y Kraft sobre las propiedades fisicomecánicas, ópticas y de rugosidad, con respecto a las mezclas con fibra larga industrial y fibra corta industrial, se presentan las figuras 12 a la 17. En la primera, se aprecia claramente que el índice de explosión se eleva al adicionar fibras de la especie de interés hasta en 40 % mezclada con 60 % de fibra larga industrial ($4.28 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$). Aunque, las combinaciones 20, 60 y 80 % de fibra corta industrial con 80, 40 y 20 % de fibra larga industrial, también ofrecen muy buena resistencia (3.81, 3.96 y $4.01 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$), respectivamente.

En la Figura 13, relativa al índice de rasgado, se evidencia que la adición de fibras de *R. communis* incidió positivamente, pero el proceso a la sosa reveló mejor índice de rasgado en la mezcla 20 % con 80 % de fibra larga industrial ($8.51 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$), con respecto a la pulpa Kraft ($7.29 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$); en este caso, la tendencia observada para el último índice es negativa al incrementar la fibra de *R. communis*, por ambos procesos. Por otro lado, se advierte que el nivel más alto alcanzado correspondió al suministro de 70 % de fibra larga industrial / 30 % de fibra corta industrial ($11.76 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$), lo cual es normal debido a que la fibra larga incrementa notablemente dicha resistencia.

Para el índice de tensión (Figura 14), añadir fibras de *R. communis* tiene un efecto positivo, ya que con 30 % de fibra

To visualize the behavior and effect of the increment of soda and Kraft *R. communis* fiber upon the physical-mechanical, optical and roughness properties, in regard to the mixtures with Industrial Long Fiber and Industrial Short Fiber, here are included figures 12 to 17.

In the first one, it can be seen clearly that the explosion index gets higher when the fibers of the studied species were added up to 40 % mixed with 60 % of industrial long fiber ($4.28 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$). Even though the 20, 60 and 80 % of industrial short fiber with 80, 40 and 20 % of industrial long fiber combination also offer very good resistance (3.81, 3.96 and $4.01 \text{ kPam}^2 \text{ g}^{-1}$), respectively.

In Figure 13 related to the tear index, the addition of *R. communis* fibers did not benefit this property, though the soda process revealed a better index in the 20 % mixture with 80 % of industrial long fiber ($8.51 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$), compared to the Kraft pulp ($7.29 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$); in this case, the observed tendency for the last one is negative to increase the fiber of *R. communis* for both processes. On the other hand, it can be detected that the highest achieved level in this resistance belonged to the 70 % industrial long fiber / 30 % industrial short fiber ($11.76 \text{ Nm}^2 \text{ g}^{-1}$), which is regular since the long fiber notably increases this resistance.

For the tension index (Figure 14), the addition of soda *R. communis* fibers partially benefits this property, since with 30 %

de *Ricinus* y 70 % de fibra larga industrial (77.79 Nm g^{-1}) se supera el valor obtenido al 100 % con fibra larga industrial (74.68 Nm g^{-1}); sin embargo, ninguna de las otras mezclas con *Ricinus* mejoran la calidad. Es importante señalar que la mezcla con fibra corta industrial y fibra larga industrial producen resultados más sobresalientes en ese rubro.

En la Figura 15 (% blancura) se muestra que la adición de fibra de *R. communis* (sosa y Kraft) en 30 % mezclada con 70 % de fibra larga industrial presenta valores aceptables de blancura (79.83 % y 77.32 %), en relación con la fibra larga industrial (81.02 %); no obstante, las mezclas fibrosas con 60 y 80 % de fibra corta industrial mezcladas con 40 y 20 % de fibra larga industrial tuvieron valores más altos (81.61 y 83.09 %) de blancura.

La opacidad (Figura 16) parece tener un efecto inverso al de la blancura; es decir, al incrementar la fibra de *R. communis* la opacidad lo hizo notablemente en las mezclas con 60 y 80 % de fibra de *Ricinus* (sosa y Kraft) con 40 y 20 % de fibra larga industrial (86.77 y 85.91 %). En comparación con los valores de opacidad obtenidos al 100 % de fibra corta industrial (83.17 %) y fibra larga industrial (77.66 %), fueron mayores los que resultan de la incorporación de *R. communis*.

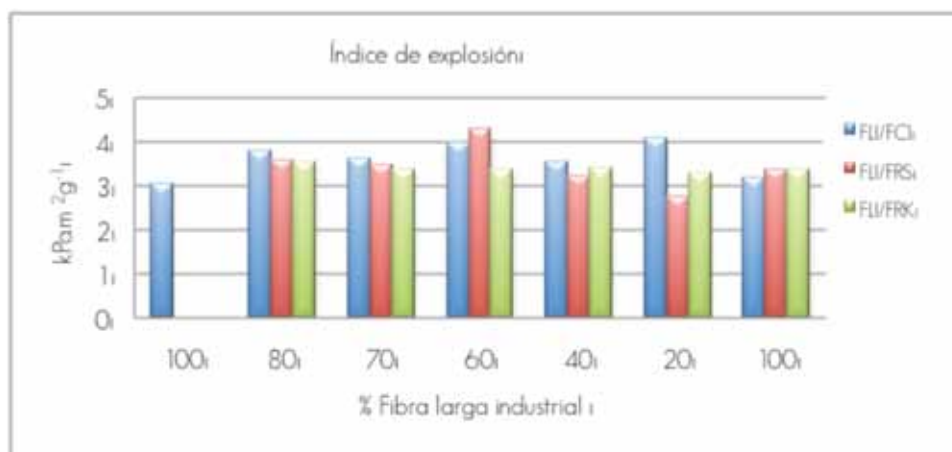
Respecto a la rugosidad (Figura 17) al añadir fibras de *R. communis* disminuye el índice de rugosidad; sobre el particular, la adición de pulpa Kraft de *Ricinus* a partir de 60 % presenta en promedio, un menor valor (0.62) que la pulpa a la sosa (0.89), pero la fibra corta industrial (1.21) y la fibra larga industrial (1.07) en este mismo nivel de mezcla fibrosa registran un índice superior. Para el caso de papeles *offset*, un aumento en dicho indicador (> 1.0) podría generar depósitos de tinta al momento de imprimir y una disminución (< 0.5) generaría escurrimiento de las tintas (Del Peral, 1973), por lo que las fibras de *R. communis* mejoran esta característica superficial; así, se recomendaría la adición de 60 % de fibra de la especie estudiada con 40 % de fibra larga industrial para enriquecer dicha propiedad.

of *Ricinus* fibers mixed with 70 % of industrial long fiber (77.79 Nm g^{-1}) is overcome the obtained value at 100 % with industrial long fiber (74.68 Nm g^{-1}); however, none of the other mixtures with *Ricinus* improve this quality. It is important to point out that the mixture with industrial short fiber and industrial long fiber produce better results in this category.

In Figure 15 (whiteness %) it can be seen that the addition of 30 % *R. communis* fiber (soda and Kraft) mixed with 70 % of industrial long fiber, shows good whiteness values (79.83 % and 77.32 %) compared to the industrial long fiber (81.02 %); however, the fibrous mixtures with 60 and 80% of industrial short fiber mixed with 40 and 20 % industrial long fiber, get over these numbers (81.61 and 83.09 % whiteness).

Opacity seems to have an inverse reaction to whiteness (Figure 16), that is, when *R. communis* increased, so did opacity in an outstanding way in the 60 and 80 % (soda and Kraft) *Ricinus* mixtures with 40 and 20 % with industrial long fiber (86.77 and 85.91 %). Compared to the opacity values at 100 % of industrial short fiber (83.17 %) and industrial long fiber (77.66 %), were higher than those where *R. communis* was involved.

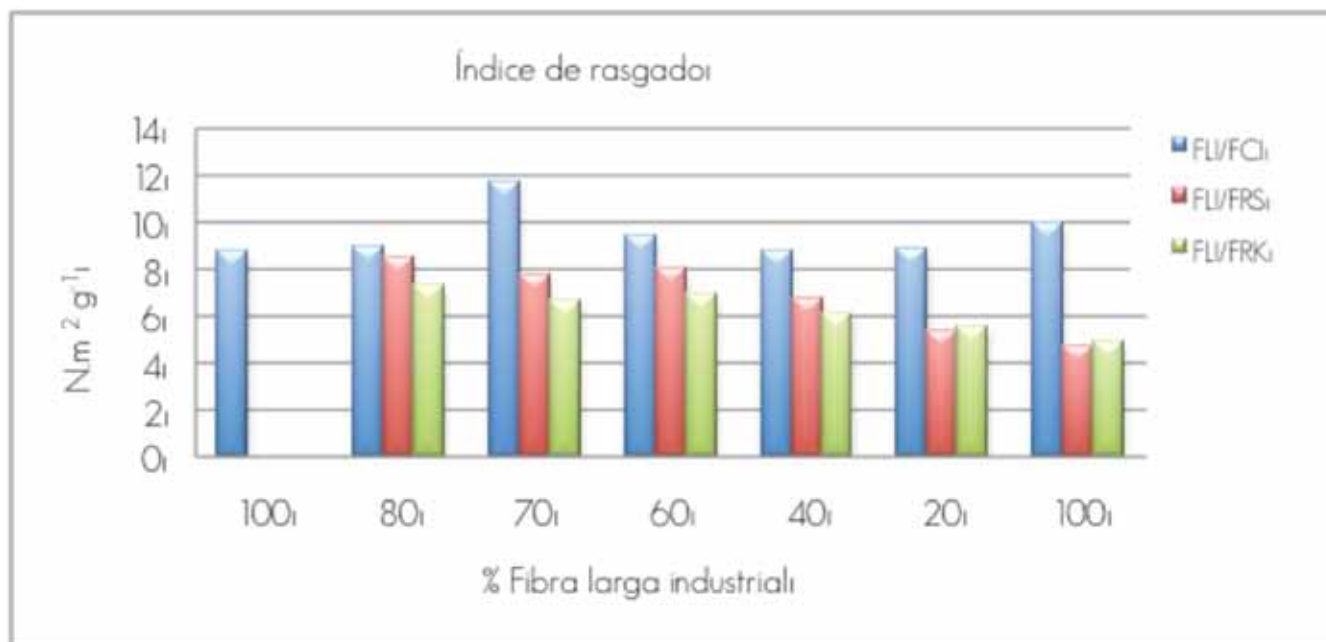
In regard to roughness (Figure 17), the aggregation of *R. communis* fibers lowers the roughness index; in this case, the Kraft *Ricinus* pulps from 60 % onwards in average, shows a smaller value (0.62) than soda pulp (0.89), but the industrial short fiber (1.21) and the industrial long fiber (1.07) in this same fibrous mixture level registered a higher roughness index. For offset papers, a higher number (> 10) could generate ink deposits at the time of printing and a lower number (< 0.5) could produce ink drain (Del Peral, 1973), which means that the *R. communis* fibers improve this superficial characteristic; thus, it is advised to add 60 % of this fiber with 40 % of industrial long fiber to favor this property.



FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 FLI = Industrial long fiber; FCI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.

Figura 12. Efecto de la composición fibrosa en la resistencia a la explosión.

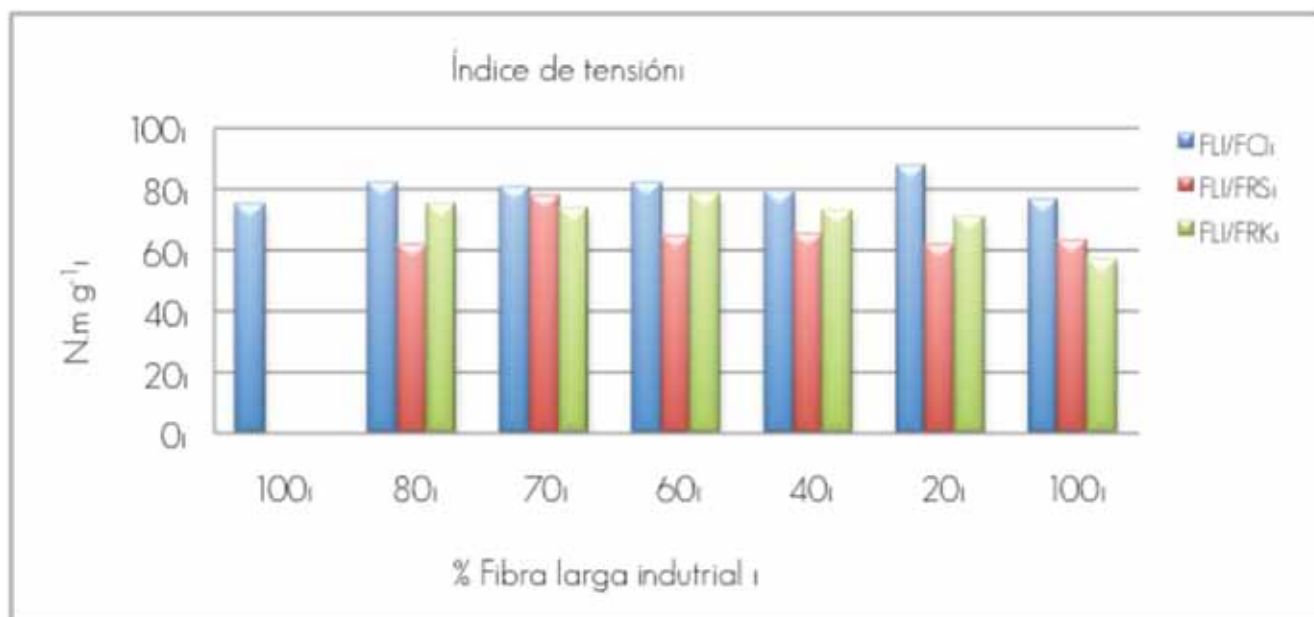
Figure 12. Effect of the fibrous composition in the resistance to explosion.



FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 LI = Industrial long fiber; CI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.

Figura 13. Efecto de la composición fibrosa en la resistencia al rasgado.

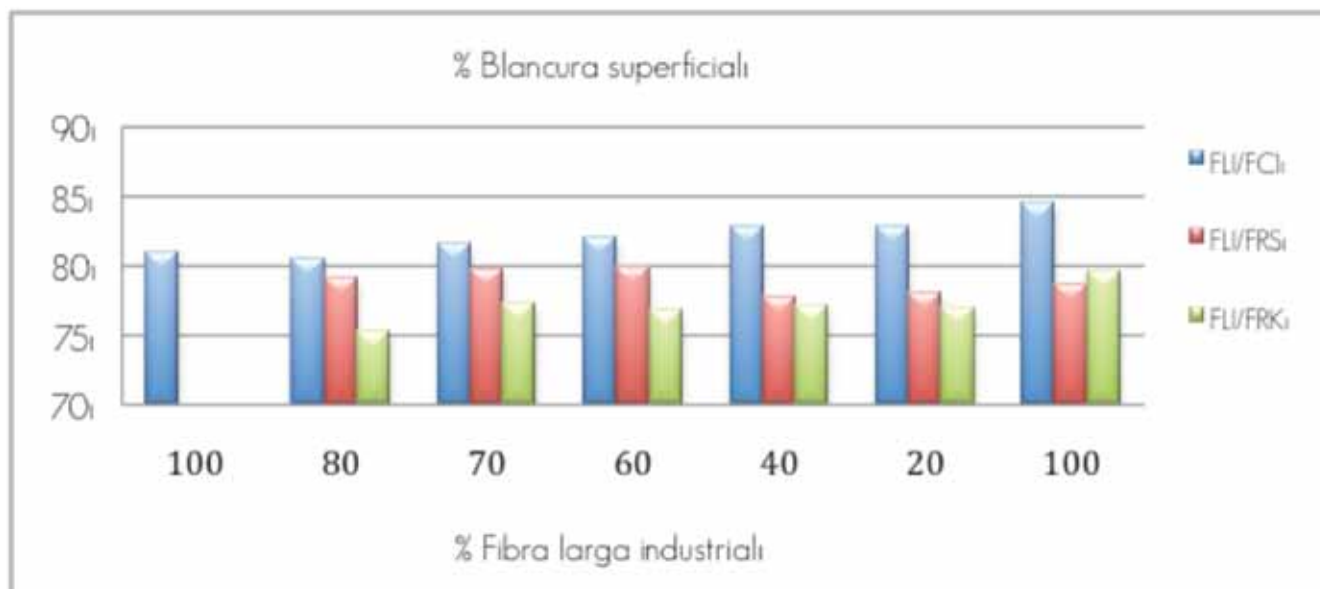
Figure 13. Effect of the fibrous composition in the resistance to tearing.



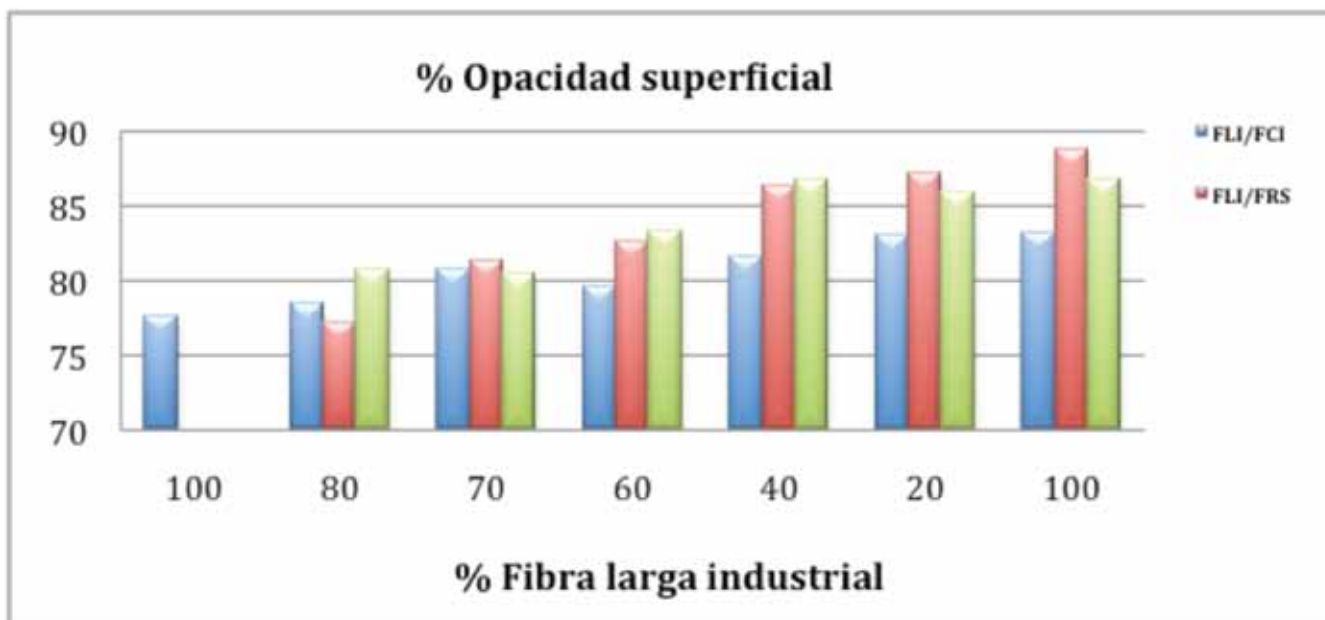
FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 LI = Industrial long fiber; CI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.

Figura 14. Efecto de la composición fibrosa en la resistencia a la tensión.

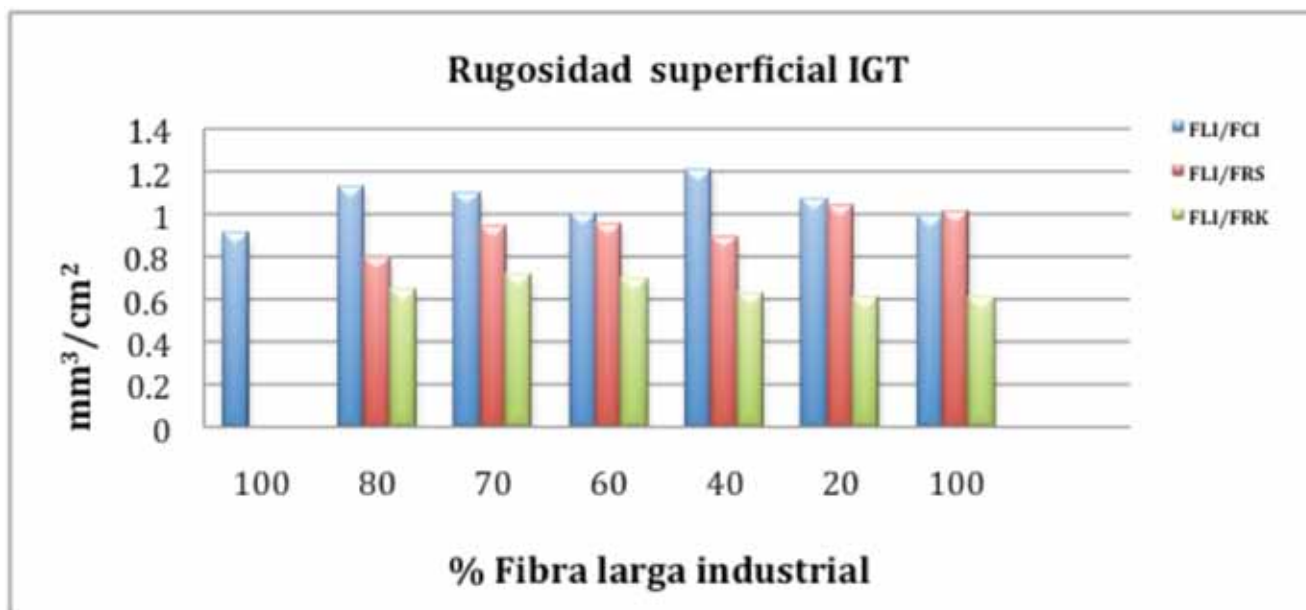
Figure 14. Effect of the fibrous composition in the tensile strength.



FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 FLI = Industrial long fiber; FCI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.
 Figura 15. Efecto de la composición fibrosa en la blancura del papel.
 Figure 15. Effect of the fibrous composition in paper whiteness.



FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 FLI = Industrial long fiber; FCI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.
 Figura 16. Efecto de la composición fibrosa en la opacidad del papel.
 Figure 16. Effect of the fibrous composition in paper opacity.



FLI = Fibra larga industrial; FCI = Fibra corta industrial; FRS = Fibra *Ricinus* sosa; FRK = Fibra *Ricinus* Kraft.
 FLI = Industrial long fiber; FCI = Industrial short fiber; FRS = Soda *Ricinus communis* fiber; FRK = Kraft *Ricinus communis* fiber.

Figura 17. Efecto de la composición fibrosa en la rugosidad del papel.

Figure 17. Effect of the fibrous composition in paper roughness.

Al comparar los resultados de Nagaty *et al.* (1982) con los aquí registrados en pulpa Kraft de *R. communis* blanqueada bajo secuencia CEH y refinada a 50 °SR, sus valores fueron más altos en doblez, 711 (334) e índice de explosión, 5.13 kPam² g⁻¹ (3.4 kPam² g⁻¹), pero en índice de tensión, 50.23 Nm g⁻¹ (59.75 Nm g⁻¹) y de rasgado, 2.66 Nm² g⁻¹ (4.8 Nm² g⁻¹) fueron inferiores a los registrados en el presente trabajo. Dichos autores no incluyeron la blancura, la opacidad y la viscosidad.

Para pulpa a la sosa blanqueada de *Ricinus communis*, con secuencia O D [OP] D, Escoto *et al.* (2014) obtuvieron los siguientes resultados: doblez 429 (334) e índice de explosión 4.81 kPam² g⁻¹ (3.4 kPam² g⁻¹), los cuales son superiores a los aquí documentados; sin embargo, los correspondientes al índice de tensión, 59.91 Nm g⁻¹ (59.75 Nm g⁻¹), son prácticamente iguales. Solo, el índice de rasgado, 2.24 Nm² g⁻¹ (4.8 Nm² g⁻¹), fue más alto. Respecto a la blancura 82.68 % (79.66 %), opacidad 89.85 % (88.69 %) y viscosidad 10.75 Cp (8.1 Cp) también resultaron relativamente inferiores.

Conclusiones

Dentro del proceso de cocción (Sosa - Kraft), se determinó que las condiciones de digestión no influyen significativamente en términos numéricos (sobre todo en la parte de viscosidad), pero para el porcentaje de rendimiento y el número de Kappa, sí se detectaron diferencias.

Los resultados de la curva de refinación mostraron que a tiempos de refinación iguales, las pulpas de *R. communis*

When comparing the results from Nagaty *et al.* (1982) in bleached Kraft pulp of *R. communis* under the CEH sequence and refined at 50 °SR, their value were higher in bending, 711 (334), and explosion index 5.13 kPam² g⁻¹ (3.4 kPam² g⁻¹), but in tension index, 50.23 Nm g⁻¹ (59.75 Nm g⁻¹), and tear index, 2.66 Nm² g⁻¹ (4.8 Nm² g⁻¹), they were lower than those found in this study. Such authors did not include whiteness, opacity and viscosity data.

For soda *R. communis* bleached pulp through the O D [OP] D sequence, Escoto *et al.* (2014) found the following results: bending, 429 (334) and explosion index, 4.81 kPam² g⁻¹ (3.4 kPam² g⁻¹), which were higher than those of the actual study; however, those corresponding to the tension index, 59.91 Nm g⁻¹ (59.75 Nm g⁻¹), they are almost the same. Only the tear index, 2.24 Nm² g⁻¹ (4.8 Nm² g⁻¹), was higher. The whiteness, 82.68 % (79.66 %), opacity, 89.85 % (88.69 %) and viscosity 10.75 Cp (8.1 Cp) data were rather lower.

Conclusions

Within the cooking process (soda - Kraft), it was found that the digestion conditions did not significantly affect numerically (mainly in the viscosity section), but for the yield percentage and the Kappa number, there were differences.

The results of the refining curve showed that at equal refining times, the *Ricinus communis* pulps demand less energy to accomplish higher levels, which means that, the industrial

necesitan menor energía para llegar a niveles más altos, por lo que la pulpa con fibra larga industrial requirió del doble de tiempo de este paso para obtener el mismo grado de refinación que alcanzaron las pulpas de *R. communis* a los 24 minutos. Los tiempos de refinación óptimos fueron: 8 minutos para la pulpa a la sosa, 12 minutos para la pulpa Kraft, 16 minutos para la fibra corta industrial y 30 minutos para la fibra larga industrial.

Respecto a las propiedades fisicomecánicas desarrolladas en las pulpas a la sosa y Kraft sin blanquear estas son relativamente muy parecidas.

El blanqueo de pulpas [OD₀(OP) D] logró mejor respuesta en el porcentaje de blancura en la pulpa Kraft con respecto a la pulpa a la sosa.

Sobre los resultados de la mezcla de fibras y sus propiedades fisicomecánicas, ópticas y rugosidad superficial, la correspondiente a la fibra larga industrial (FLI) / fibra corta industrial (FCI) concentran las mejores propiedades en las bandas con 70 % FLI / 30 % FCI y en la banda 20 % FLI / 80 % FCI, que son valores superiores a los registrados al 100 % de fibra larga industrial.

En la mezcla fibra larga industrial (FLI) / fibra de *R. communis* a la sosa (FRS) las mejores propiedades se tienen en las bandas 70 - 80 % FLI / 30 - 20 % FRS y en la banda 60 - 20 % FLI / 40 - 80 % FRS, en general, igualmente superiores a las de 100 % de fibra larga industrial.

En el caso de la mezcla fibra larga industrial (FLI) / fibra de *R. communis* Kraft (FRK) las mejores propiedades se concentran en las bandas con 70 - 40 % FLI / 30 - 60 % FRK; igualmente, a excepción de la blancura, el índice de doblez y el índice de rasgado, el resto de las propiedades son relativamente superiores a las reconocidas al 100 % de fibra larga industrial.

Es factible precisar que la obtención y aplicación de celulosa blanqueada a partir de *R. communis* mezclada con fibra corta industrial (FCI) para fabricar papel bond, se expresa en lo siguiente:

- La pulpa con fibra corta industrial (FCI) presenta relativamente mejores características físico-mecánicas con respecto a las pulpas de comparación fibra de *R. communis* Kraft (FRK) y fibra de *R. communis* sosa (FRS).
- La pulpa con fibra corta industrial (FCI) mezclada con fibra de *R. communis* Kraft y sosa (FRK y FRS), en general mejoraron sus propiedades físico-mecánicas en espesor, índice de rasgado, rugosidad, blancura y opacidad.

Con base en lo anterior, la pulpa de *R. communis* obtenida a través de procesos de cocción alcalina (sosa y Kraft) y blanqueada [OD₀(OP) D], sí puede ser sugerida como

long fiber needed twice the time in this stage to get the same refining degree that the *R. communis* pulps accomplished after 24 minutes. The optimum refining times were: 8 minutes for soda pulp, 12 minutes for Kraft pulp, 16 minutes for industrial short fiber and 30 minutes for industrial long fiber.

In regard to the physical-mechanical properties developed in the soda and Kraft unbleached pulps, it was found that they were rather similar.

Pulp bleaching [OD₀(OP) D] achieved a better response in terms of whiteness of the Kraft pulp compared to soda pulp.

About the results of fiber mixture and their physical-mechanical properties, optical and superficial roughness, that of the industrial long fiber (FLI)/industrial short fiber (FCI) concentrated the best properties in the 70 % FLI / 30 % FCI band and in the 20 % FLI / 80 % FCI band, which are higher values than those recorded at 100% of industrial long fiber.

In the industrial long fiber (FLI)/ soda *Ricinus communis* fiber (FRS) mixture, the best properties were found in the 70 - 80 % FLI / 30 - 20 % FRS band and in the 60 - 20 % FLI / 40 - 80 % FRS band, in general, also higher to those of 100 % of industrial long fiber.

In the case of the industrial long fiber (FLI) / Kraft *Ricinus communis* fiber (FRK) mixture, the best properties concentrated in the 70 - 40 % FLI / 30 - 60 % FRK band; also, except for whiteness, bending index and tear index, the rest of the properties are rather above those at 100 % of the industrial long fiber.

It can be stated that the procurement and application of bleached cellulose from *Ricinus communis* mixed with industrial short fiber (FCI) to produce bond paper, is expressed as follows:

- The industrial short fiber (FCI) pulp showed rather better physical-mechanical characteristics compared to the Kraft *R. communis* fiber (FRK) and the soda *R. communis* fiber (FRS).
- The industrial short fiber (FCI) pulp mixed with the Kraft *R. communis* fiber (FRK) and the soda *R. communis* fiber (FRS), in general, improved the physical-mechanical properties in terms of thickness, tear index, roughness, whiteness and opacity.

Finally, based on the former, the *Ricinus communis* pulp extracted through two alkali cooking processes (soda and Kraft) and bleached [OD₀(OP) D], can be suggested as a fiber ingredient of bond paper in a range of 40 to 80 %, mixed with industrial long fiber from pines; besides improving opacity and roughness, it could mean energy saving in refining times and in the raw material cost compared to the industrial short fiber from *Eucalyptus*, since this plant is a shrub that can be used to produce cellulose pulp.

componente fibroso del papel bond en un intervalo de 40 a 80 %, mezclada con fibra larga industrial proveniente de los pinos; además de mejorar la opacidad y rugosidad, lo que generaría un ahorro de energía en los tiempos de refinación y en el costo de materia prima con respecto a la fibra corta industrial proveniente de eucaliptos, ya que *R. communis* es una maleza arbustiva que puede aprovecharse para producir pulpa celulósica. 

Conflicto de intereses

Los autores declaramos no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Teófilo Escoto García: concepción y planeación del trabajo, gestión y organización de los materiales y reactivos químicos para el desarrollo experimental, asesoría, revisión de los resultados experimentales, redacción y corrección del documento; Rosa Nallely Murillo Vázquez: desarrollo de la parte experimental, redacción del documento; Antonio Rodríguez Rivas: asesoría y revisión del documento; José Ansaldo Hernández: asesor y revisión del documento; J. Jesús Rivera Prado: asesor y revisión del documento.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Ing. José Luis Mesa Coria Gerente del Área Técnica del Grupo Papelero Scribe S.A. de C.V. en Morelia, Michoacán, México, por las facilidades otorgadas en la aportación de muestras fibrosas (fibra larga y fibra corta) para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Agarwal, A., A. Bansal, M. N. Ansari, M. C. Jain and J. S. Upadhyaya. 1992. Non-wood fibrous plants for pulp and paper manufacture (*Adhatoda basica*, *Ipomea carnea* and *Ricinus communis*) a chemical and anatomical studies. *Chemical Acta Turcica* 20 (3):253-258.
- Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC). 2014. La celulosa., El Sitio educativo de CMPC. Papelnet de Empresas CMPC. <http://papelnet.cl/?pagad=3797> (6 de noviembre de 2014).
- Del Peral, A. 1973. Ensayos de imprimibilidad de los papeles, trabajos de divulgación de la Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española. Editorial Diana. Madrid, España. pp. 48-54.
- Escoto G., T. 2002. Evaluación de la calidad en pulpa, papel y cartón. El concepto de calidad total. Editorial Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. pp. 75-96.
- Escoto G., T., A. Rodríguez R., H. J. Contreras Q., S. G. Díaz R. y H. G. Ochoa R. 2013. Aprovechamiento integral de recursos forestales no maderables. Investigación y sustentabilidad. Editorial Ediciones de la Noche Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. pp. 58-95.
- Escoto G., T., J. G. Rutiaga Q., R. Orihuela E., A. Rodríguez R. y J. J. Rivera P. 2014. Estudio químico, micrográfico y morfológico del *Ricinus communis* L., y su aplicación en pulpa blanqueable. *Revista Conciencia* 48: 4 -11.
- González G., C. T. 2008. La higuera (*Ricinus communis* L.), notas y usos de Elia Méndez Salazar., <http://www.tlahui.com/medic/medic25/higuerilla.htm> (6 de noviembre de 2014).
- Herboteca. 2014. Cultivo de *Ricinus* (*Ricinus communis* L.) y sus usos. <http://www.herboteca.com.ar/exo-ricino.html> (6 de noviembre de 2014).
- Instituto Español de Comercio Exterior (ICEX). 2014. El mercado del papel y cartón en México. España Exportación e Importaciones. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México. <http://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/que-es-icex/index.html> (7 de noviembre de 2014).
- Igartúa, D. y S. Monteoliva. 2010. Densidad Básica de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en argentina. *Revista Bosque* 31 (2): 150-156.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2014. Publicaciones y estudios Instituto Nacional de ecología y Cambio Climático <http://www2.inec.gob.mx/publicaciones/libros/3/estudios.html> (6 de noviembre de 2014).
- International Organization for Standardization (ISO). 1998. Standards Handbook Paper, board and pulps. Genève, France. n/p
- Nagaty, A., S. T. Ibrahim and O. Y. Mansour. 1982. Alkaline pulping of *Ricinus communis* L. and paper made therefrom. *Cellulose Paper LAB., Natl. Research Center; Cairo Egypt Cellulose chemistry and technology.* El Cairo, Egipto. pp. 523-531.
- Paz P., J., A. Solís O., H. Ruiz C. y M. Torres U. 2011. Pulpas químicas a partir de madera de eucalipto. Proceso a la soda fría. <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2024%20Pulpas%20semiqu%20EDmicas%20a%20partir%20de%20madera%20de%20eucalip.pdf> (5 de noviembre de 2014).
- Sánchez L., L. E. 2006. La higuera (*Ricinus communis* L.) una alternativa de producción para los productores y el mercado energético CEIEGDRUS/Boletín estadístico del sector agropecuario 7(2): 2-3.
- Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI, 1998). TAPPI test methods 1998-1999. TAPPI Press. 30348-513 Atlanta, GA, USA. n/p

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Teófilo Escoto García: original idea and study planning, negotiation and organization of materials and chemical reagents for the experimental work, advice, review of experimental results, writing and correction of the document; Rosa Nallely Murillo Vázquez: execution of the experiment, writing of the document; Antonio Rodríguez Rivas: advice and review of the document; José Ansaldo Hernández: advice and review of the document; J. Jesús Rivera Prado: advice and review of the document.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to Ing. José Luis Mesa Coria, Chief of the Technical Area of Grupo Papelero Scribe S.A. de C.V. in Morelia, Michoacán State, Mexico, for the facilities provided to get fibrous samples (long and short fibers) to carry out this study.

End of the English version

